

FOLIE 9: ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE CHEMIE AM AUTO

**BIO-KRAFTSTOFFE IM VERGLEICH (IN KM)**

Biomethan	67.600
BtL (Biomass-to-Liquid)	64.000
Biodiesel	23.300 +17.600
Bioethanol	22.400 +14.400

**BIO-KRAFTSTOFF-POTENZIAL IN DEUTSCHLAND**

Gesamtverbrauch	53 Mio. t
Otto-/Diesel-Kraftstoff	44 Mio. t
Bio-Kraftstoff	11 Mio. t
2009	2,2 Mio. t
2020	11 Mio. t

© Copyright 2017 reserved by Hagemann & Partner Bildungsmedien Verlagsgesellschaft mbH, Düsseldorf

Folie 9: Alternative Kraftstoffe

**Abbildung oben Mitte:** Das Foto zeigt, welche Kraftstoffe an den meisten Tankstellen erhältlich sind: Super, Super Plus, Super E10, Diesel. Einige Tankstellen bieten zusätzlich Bio-Diesel oder Autogas an.

Bedingt durch die Abnahme der verfügbaren Erdöl-Ressourcen wurden um die Jahrtausendwende verschiedene alternative Kraftstoffe entwickelt. Besonders bei den Bio-Kraftstoffen (Biodiesel, Ethanol) zeigte sich, dass diese nicht im ausreichenden Maße und nachhaltig produziert werden können, um den weltweiten Bedarf zu decken.

Die Bestände an fossilen Energieträgern sind begrenzt und der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid muss weltweit gesenkt werden. Die Kapazitäten und die Leistungsfähigkeit von elektrischen Energiespeichern (Lithium-Ionen-Akku) konnte in den letzten Jahren so weit entwickelt werden, dass inzwischen Elektrofahrzeuge mit Reichweiten über

500 km auf dem Markt erhältlich sind. Einige Länder (Norwegen, Österreich, Niederlande) überlegen sogar, in Zukunft nur noch Fahrzeuge mit Elektroantrieb neu zuzulassen. Voraussetzung ist, dass die benötigte elektrische Energie nachhaltig gewonnen wird (erneuerbare Energien, z. B. Wasserkraft, Windkraft).

Es ist davon auszugehen, dass der Elektroantrieb den Verbrennungsmotor in naher Zukunft ablösen wird. Die Entwicklung und Verwendung von „alternativen“ Kraftstoffen scheint daher nur eine Übergangslösung zu sein, denn unter Nachhaltigkeitsbetrachtungen erweisen sie sich oft nicht als Alternative.

Die abgebildeten **Strukturformeln** stellen konventionelle und alternative Kraftstoffe dar, die von den Schülerinnen und Schülern als Übung zugeordnet bzw. erkannt werden sollen.

**Formeln links von oben nach unten:**

- 1+2: Name und Formelbeispiel für Biodiesel (Octadecansäuremethylester)

- 3 Name Ethanol
- 4 Strukturformel von Methylnaphthalin = Cetanzahl 0 = Referenzverbindung für die Cetanzahl
- 5 Strukturformel von Heptan, Bestandteil von Benzin
- 6 Name Iso-Oktan = Oktanzahl 100 = Referenzverbindung für die Oktanzahl (auch Octan und Octanzahl)

**Formeln rechts von oben nach unten:**

- 1 Name Hexadecan = Cetan = Cetanzahl 100 = Referenzverbindung für die Cetanzahl
- 2 Summenformel von Cetan
- 3 Summenformel Ethanol
- 4 Iso-Oktan = Oktanzahl 100 = Referenzverbindung für Oktanzahl
- 5 Name Cetan
- 6 Strukturformel von Methan
- 7 Name Methan
- 8 Strukturformel von Ethanol
- 9 Name Methylnaphthalin

**Biodiesel, Kraftstoff aus flüssiger Biomasse**

Hierzulande wird **Biodiesel** an verschiedenen Tankstellen angeboten und ist daher am bekanntesten. Er wird bei uns fast ausschließlich aus Rapsöl gewonnen, obwohl auch Altspeiseöl und Tierfette infrage kommen. Die im Frühjahr strahlend gelb blühenden Rapsfelder kennt inzwischen jeder.

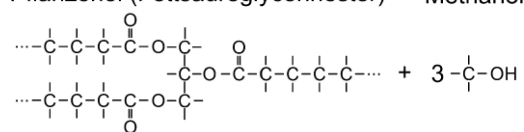
**Abbildungen unten links:** Rapssamen haben einen Ölgehalt von etwa 40 %. Aus ihnen wird das Öl in der Ölmühle (s. Foto unten links) kalt gepresst oder extrahiert (siehe Kopiervorlage 19, Versuche 1a + 1b).

Wegen seiner hohen Viskosität kann Rapsöl nur in umgerüsteten Dieselmotoren verwendet werden, z. B. in landwirtschaftlichen Fahrzeugen. Diese erreichen aber weder die Abgasnorm Euro-4 noch Euro-5.

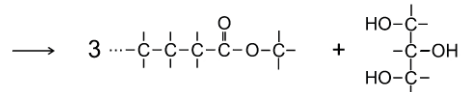
Damit es auch in Dieselfahrzeugen im Straßenverkehr genutzt werden kann, lässt man das Rapsöl mit Methanol zu Fettsäuremethylester (**Rapsölmethylester RME**) reagieren (Umesterung). Hier bietet sich wieder die Thematisierung des Zusammenhangs zwischen Molekülgröße, zwischenmolekularer Anziehungskraft und Viskosität an.

**Umesterung von Pflanzenöl mit Methanol**

Pflanzenöl (Fettsäureglycerinester) + Methanol



→ Fettsäuremethylester + Glycerin



Das für die Umesterung verwendete Methanol wird aus Methan gewonnen, welches wiederum aus Erdgas stammt, also nicht aus erneuerbaren Energiequellen.

Eine Umesterung mit Biomethanol oder -ethanol ist aber ebenso denkbar. Dann wäre ein reiner Bio-Kraftstoff zu erzielen.

Nicht in allen Dieselmotoren darf Biodiesel in höheren Konzentrationen verbrannt werden, da **Gummi- und**

**Kunststoffteile** des Motors bei nicht angepassten Fabrikaten **angegriffen werden können**. Hier ist im Zweifelsfall eine Händleranfrage nötig. Außerdem verträgt sich Biodiesel nicht mit dem Additiv, das einige Hersteller zum Freibrennen des Partikelfilters verwenden.

Kritisch zu sehen ist, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Biodiesel zwar ca. 65 % unter dem von konventionellem Diesel-Kraftstoff liegt, jedoch beim Rapsanbau andere Treibhausgase entstehen. Der Ausstoß von Formaldehyd und von Ozon erzeugenden Kohlenwasserstoffen steigt sogar an. Inzwischen ist die Verwendung von Ackerflächen für die Produktion von Kraftstoffen in die Kritik geraten, weil sie in Konkurrenz zum Nahrungsmittelanbau tritt und die Preise für Grundnahrungsmittel weltweit steigen.

Dieses Thema lässt sich anhand der Folie auch sehr gut fächerübergreifend in Politik, Sozial- und Wirtschaftskunde oder Erdkunde aufgreifen.

### Bioethanol

Auch Bioethanol (siehe Kopiervorlage 20, Versuch 2a + 2b) ist als Kraftstoffalternative ein Begriff. Bioethanol entsteht durch Gärung aus zucker- und stärkehaltigen Pflanzen, z. B.

- Getreide: Weizen, Roggen, Mais,
- Kartoffeln,
- Zuckerrohr,
- Holz (selten)

Stärke wird vor der Gärung enzymatisch in Zucker umgewandelt. Diesen Umwandlungsprozess kann übrigens jeder schmecken, da unser Speichel ein solches Enzym (Ptyalin) enthält. Wenn wir uns also die Zeit nehmen, ein Stück trockenes Brötchen fünf Minuten lang zu kauen, ohne es herunterzuschlucken, dann merken wir, wie sich der Stärkegeschmack in Süße umwandelt.

Die Vergärung des Zuckers entspricht genau dem Vorgang, mit dem auch alle Gärungsgetränke (z. B. Wein, Bier) hergestellt werden.

Es lohnt sich an dieser Stelle mit den Schülerinnen und Schülern über die Bedeutung der heute so beliebten Vorsilbe „Bio“ zu sprechen. Zwar wird Alkohol auch synthetisch auf Erdölbasis aus Wasser und Ethen mit Schwefelsäure als Katalysator hergestellt, aber das klassische (biologische) Gärungsverfahren überwiegt deutlich.



Die Gärung dauert 72-90 Stunden, dabei wird ein Alkoholgehalt von 12-18 Vol.% erreicht. Durch anschließende Destillation und Rektifikation in der Kolonne erzielt man eine Konzentrierung auf maximal 96 Vol.% Alkohol. (Alkohol und Wasser bilden ein azeotropisches Gemisch, das sich durch Destillation nicht vollständig trennen lässt; um 100%igen Alkohol zu gewinnen, verwendet man Trocknungsmittel wie wasserfreies Kupfersulfat oder gebrannten Kalk (CaO). Dies ist aber für den Alkohol als Kraftstoff nicht erforderlich.)

Bioethanol ist als Kraftstoff in Brasilien und Schweden sehr verbreitet. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß entspricht genau der durch die Pflanzen eingebundenen Menge. Allerdings wird bei der Herstellung Energie benötigt, deren CO<sub>2</sub>-Bilanz in die Berechnung einbezogen werden muss und

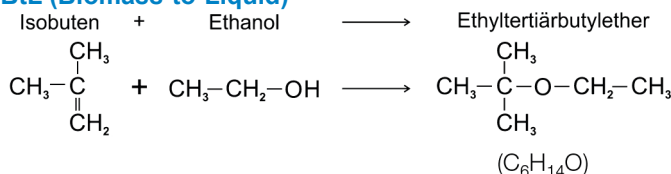
die stark von dem Energieträger abhängt, der hierzu eingesetzt wird. Zuckerrohr hat eine besonders günstige Bilanz, weil die ganze Pflanze verwendet werden kann.

Motoren müssen an Ethanol als Treibstoff angepasst werden, bzw. FlexiFuel-Vehicle sein, wie sie einige Firmen anbieten (z. B. Ford, Saab, Volvo).

In Deutschland werden dem Benzin zurzeit 5 % (Super) bis 10 % (Super E10) Bioethanol beigemischt. Aus Bioethanol wird jedoch Bio-Ethyl-Tertiär-Butylether (ETBE) hergestellt, der dem Benzin bis zu 15 % ohne Weiteres zugemischt werden kann und dessen Klopfestigkeit erhöht. In Deutschland beträgt der gesetzlich vorgeschriebene Anteil von Bio-Kraftstoffen 6,25 % (Bio-Kraftstoffquote). Die Verwendungsmöglichkeiten von Methyl-Tertiär-Butylether (MTBE) werden zurzeit kritisch untersucht, da Verunreinigungen im Trinkwasser auftreten. In einigen Ländern ist die Verwendung von MTBE daher verboten. In Deutschland wird ausschließlich ETBE verwendet.

ETBE entsteht aus der Reaktion von 60 % Ethanol mit 40 % 2-Methyl-Propen:

### BtL (Biomass-to-Liquid)



### Kraftstoffe aus fester Biomasse

BtL-Kraftstoffe werden auch „Designer-Kraftstoffe“ genannt, weil man ihre Zusammensetzung durch die Synthesebedingungen fast beliebig variieren kann. Deshalb kann man Otto-Kraftstoff (SunFuel, SynFuel) ebenso wie Diesel-Kraftstoff (SunDiesel) durch BtL ersetzen.

**Ausgangsstoffe** für BtL-Kraftstoffe sind reichlich vorhanden:

- Holzabfälle aus der Forstwirtschaft
- Altholz
- Pappeln
- schnell wachsende Gräser
- Reststoffe aus der Müllverwertung
- getrockneter Klärschlamm

### Verfahren

- Partielle Oxidation (Verschmelzung) zu Biokoks und teerhaltigem Gas (flüchtige Bestandteile)
- Das Gas wird bei hohen Temperaturen nachoxidiert.
- Der gemahlene Biokoks wird zugeblasen endotherme Reaktion zu Synthese-Rohgas.
- Fischer-Tropsch-Synthese ~ 60 % wird als aromaten- und schwefelfreier Diesel-Kraftstoff abdestilliert. Die leichten Fraktionen werden nach Anpassung der OZ dem Otto-Kraftstoff beigemischt oder erneut der Fischer-Tropsch-Synthese zugeführt, sodass weitere längerkettige Dieselbestandteile entstehen.

Abfallende Paraffinwache werden als Grundstoffe in der Chemieindustrie verwendet.

In die Produktion dieser Bio-Kraftstoffe werden große Hoffnungen gesetzt. Sie sind heute bei uns allerdings noch nicht verfügbar.

BtL-Kraftstoffe haben eine hohe Reinheit und sie verursachen weniger Emissionen als die Erdölfraktionen. Betrachtet man darüber hinaus den Ertrag pro Hektar Anbaufläche, wird dieser Bio-Kraftstoff bei Ausbau und Optimierung der Produktionsanlagen sicher Zukunft haben, zumal seine Ausgangsstoffe nicht in Nahrungsmittelkonkurrenz stehen.

**Biomethan/Biogas:**

**Abbildung links Mitte:** Biomethan entsteht durch anaeroben Abbau von organischen Stoffen durch Mikroorganismen:

- Rinder- und Schweinegülle
- Futterrüben
- Silomais
- Weidegras
- Bioabfall
- Speisefälle
- Abfallfette
- Tierische Nebenprodukte

Als Rückstand entsteht ein Gemisch aus Wasser, nicht abgebauten organischen Stoffen (meist cellulose-reiche oder holzige Stoffe) sowie anorganischen Stoffen wie Sand und Mineralien.

Biogas enthält je nach Ausgangsmaterial:

- 40-75 Vol.% Methan
- 25-55 Vol.% Kohlenstoffdioxid
- 0-10 Vol.% Wasser (außerdem N, O, H, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, (riecht daher ungeschwefelt nach faulen Eiern))

Methangas ist schon als fossiler Kraftstoff bekannt und als solcher an etlichen Tankstellen für entsprechend umgerüstete, bzw. ausgestattete Fahrzeuge erhältlich. Man braucht einen Tankdruck von 200.000 hPa, d. h. man benötigt schwere Druckgasbehälter, die im Fahrzeug untergebracht werden müssen und ein erhebliches Eigengewicht beisteuern. Andererseits wird Erdgas bis 2018 steuerlich gefördert und führt oft auch zu niedrigeren Versicherungsprämien. Außerdem hat es deutlich bessere Abgaswerte:

- Gegenüber Diesel: weniger Stickoxide, Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid, keinerlei Feinstaub, 3,5 % weniger CO<sub>2</sub>
- Gegenüber Benzin: 21 % weniger CO<sub>2</sub>

Um Biomethan als Kraftstoff zu nutzen, muss es gereinigt werden, außerdem muss eine gleichbleibende Zusammensetzung gewährleistet sein. (Heute wird Biomethan noch überwiegend in Gasmotoren für Generatoren zur Stromerzeugung genutzt. Trennt man das CO<sub>2</sub> ab, kann es wie Erdgas ins Netz eingespeist werden.)

Die bisher dargestellten alternativen Kraftstoffe werden aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugt. Man sollte deshalb eine Vorstellung davon entwickeln, was das für unsere Landwirtschaft und die Verfügbarkeit der Kraftstoffe bedeutet.

**LPG Liquefied Petroleum Gas, Autogas, Flüssiggas**

Wer gelegentlich in die Niederlande fährt, kennt eventuell die Tankstellen mit dem LPG Zeichen. Auch in etlichen anderen europäischen Nachbarstaaten ist

Autogas als Kraftstoff für Ottomotoren etabliert. In Deutschland steigt die Zahl der Nutzer, besonders aufgrund der steuerlichen Förderung. Hierzulande muss LPG nach DIN EN 589 mindestens 95 % Propan und Propen enthalten (dabei muss Propan überwiegen), der Rest ist Butan und Buten.

Autogas wird bei der Erdölförderung, in den Raffinerien und auch als Begleitgas bei der Erdgasförderung gewonnen, sozusagen als „Abfallprodukt“. Es ist in gasförmigem Zustand etwas schwerer als Luft und wird bei einem Druck von acht bar flüssig, wobei es sein Volumen auf 1/260 verringert. Das heißt, dass 1.000 Liter gasförmiges Gas nur knapp vier Litern flüssigem Gas entsprechen. Für die Verflüssigung wird wesentlich weniger Druck benötigt als bei Methan oder gar Wasserstoff. Dies können Schülerinnen und Schüler am Beispiel des Butans sehr leicht verstehen. Die billigen Kunststofffeuerzeuge halten dem Druck des verflüssigten Butans bereits stand. Propan hat einen niedrigeren Siedepunkt als Butan, muss also unter höherem Druck als Butan verflüssigt werden, dieser liegt aber noch sehr weit unter dem Druck, der für Methan benötigt wird.

Die Abgaswerte von LPG sind bezogen auf den CO<sub>2</sub>- und Stickoxidausstoß deutlich günstiger als die von Benzin, außerdem entstehen weniger unverbrannte Kohlenwasserstoffe. Solange Erdöl zur Kraftstoffproduktion genutzt wird, ist Autogas eine sinnvolle und umweltschonende Ergänzung des Angebotes.

**Abbildung rechts Mitte:** Die Abbildung „Bio-Kraftstoffe im Vergleich“ lässt sich gut durch die Angaben der Tabelle „Effizienz der Bio-Kraftstoffe“ ergänzen. Die Zahlen differieren allerdings etwas, weil ein unterschiedlicher Verbrauch auf 100 km zugrunde gelegt wurde (auf der Folie: Ottomotor 7,4 l/100 km und Diesel 6,1 l/100 km). Die Abbildung auf der Folie berücksichtigt außerdem die zusätzliche Nutzung des Biomethans, das jeweils aus den Resten der Produktion gewonnen werden kann.

Effizienz der Bio-Kraftstoffe

	Ertrag pro ha/Jahr	Effizienz im Vergleich	Reichweite bei Verbrauch von 8 l/100 km
Biodiesel	1.500 l	91 % zu Diesel	17.500 km
Bioethanol	2.500 l	66 % zu Benzin	21.000 km
BtL	4.000 l	93 % zu Diesel	47.250 km
Biomethan	3.500 kg	140 % zu Benzin	61.125 km

FAZ vom 27.03.2007

Hier wird der jährliche Literertrag von einem Hektar Anbaufläche der alternativen Kraftstoffe dargestellt. Die Leistung im Motor wird mit dem Kraftstoff verglichen, der ersetzt wird = Effizienz oder Kraftstoffäquivalent. Daraus errechnet sich die Reichweite in Kilometern. Ein Hektar (10.000 m<sup>2</sup>) ist kaum mehr als ein Fußballfeld. Betrachtet man den Biodiesel in dem Effizienzdiagramm, so entspricht der Ertrag dieser Fläche der jährlichen Fahrleistung vieler Bundesbürger. Bei einer Fahrzeugdichte von mehr als 40 Millionen Fahrzeugen in der Bundesrepublik brauchte man allerdings eine Fläche von 40 Millionen Hektar!

Die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) prognostiziert für 2020 eine Gesamtanbaufläche für Energiepflanzen von 3,5 Millionen Hektar. Diese Fläche würde dann, sofern man sie ausschließlich für die

Gewinnung von Kraftstoffen für straßentaugliche Fahrzeuge verwendet, etwa ein Viertel des Bedarfs decken.

So sieht man in der **Abbildung rechts unten** auch, dass für das Jahr 2020 ein Anteil an Bio-Kraftstoffen von einem Viertel des Gesamtverbrauchs angenommen wird. Dies kann tatsächlich nicht über die Anbaufläche, sondern nur über eine drastische Einsparung von Kraftstoff erreicht werden. Dafür sind technische Verbesserungen nötig, aber auch entscheidend die Verantwortung der Autofahrer, die durch spritsparendes Fahrverhalten den Kraftstoffverbrauch ihres Autos deutlich senken können.

**Lösungen zu den Kopiervorlagen**

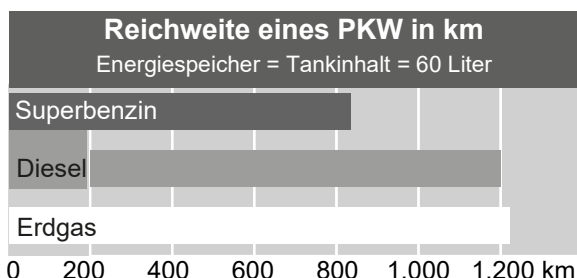
**Kopiervorlage 18: Alternative Kraftstoffe**

1. Super, Biodiesel, Bioethanol, Erdgas/Biogas, LPG Benzin und Diesel wurden bisher aus Erdöl gewonnen. Erdöl gehört zu den fossilen Energieträgern, ist also nur begrenzt verfügbar. Erdöl enthält seit Jahrmillionen gebundenen Kohlenstoff, der bei der Verbrennung im Motor als CO<sub>2</sub> wieder frei wird und die Atmosphäre belastet.
2. a) Rapsöl ist wie alle Fette ein Ester, genauer ein Ester aus Glycerin mit drei Fettsäuren. Bei der Umesterung wird der dreiwertige Alkohol Glycerin (Propantriol) durch Methanol ersetzt. Aus einem Fettmolekül entstehen drei Moleküle Rapsölmethylester. Diese Flüssigkeit hat eine geringere Zähigkeit (Viskosität) als das reine Rapsöl und ist deshalb als Kraftstoff besser geeignet.
  - b) Biodiesel enthält kein Methanol mehr, es wird nur zur Reaktion gebraucht.
  - c) Glycerin ist eine farblose, ölig fließende, süßliche Flüssigkeit, die vielseitig verwendet wird. In der Kosmetikindustrie (Crèmes, Lippenstift), in der Medizin, in der Lebensmittelindustrie (unter der Bezeichnung E 422), als Feuchthaltemittel ...
3. a) Die Reichweite lässt sich mithilfe der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Reichweite} = \frac{\text{Spritmenge}}{\text{Verbrauch}}$$

Somit ergeben sich für die verschiedenen Kraftstoffe folgende Reichweiten:

Superbenzin: (60 / 7,2 → 100 =) 833,33 km  
 Diesel: (60 / 4,7 → 100 =) 1.276,60 km  
 Erdgas: (60 / 4,9 → 100 =) 1.224,49 km



4. a) Um ¼ des benötigten Kraftstoffes aus erneuerbarer Energie zu gewinnen braucht man riesige Ackerflächen. Für die angegebene Menge braucht man etwa 4 Millionen Hektar.
- b) Die Verringerung des Kraftstoffverbrauchs ist durch die Entwicklung spritsparender Motoren und die Gewöhnung an sparsames Fahrverhalten zu erwarten.

**Kopiervorlage 19: Versuche zur Gewinnung von Pflanzenöl**

**Versuch 1a:** Gewinnung von Pflanzenöl

**Beobachtung:** An den Löchern und in der Presse ist eine farblose, ölige Flüssigkeit sichtbar.

**Ergebnisse:** Das Sonnenblumenöl wurde aus den Samen gepresst. → Verfahren: Auspressen

**Versuch 1b:** Gewinnung von Pflanzenöl

**Beobachtung:** Es bleibt wieder das farblose Sonnenblumenöl zurück.

**Ergebnisse:** Das Sonnenblumenöl wurde mithilfe des Lösungsmittel Benzin aus den zermahlenden Samen herausgelöst. Den Vorgang nennt man Extrahieren. Das Lösungsmittel wird erwärmt, weil sich Öl in heißem Benzin schneller löst als in kaltem.

**Kopiervorlage 20: Versuche zur Gewinnung von Bioethanol**

**Versuch 2a:** Gewinnung von Bioethanol

**Beobachtung:** Es kommt zu einer Reaktion mit heftiger Gasentwicklung, die Flüssigkeit riecht nach Trinkalkohol. Kalkwasser wird durch das Gas trüb.

**Ergebnisse:** Es entstehen Alkohol und Kohlenstoffdioxid. Die Alkoholkonzentration durch Gärung übersteigt nie 18 %, weil bei dieser Konzentration die Hefepilze absterben.

**Versuch 2b:** Gewinnung von Bioethanol

**Beobachtung:** Es entsteht ein farbloses Destillat → Alkohol.

Der Alkohol lässt sich leicht entzünden.

**Erklärung:** Der bei 78 °C siedende Alkohol wird von dem höher siedenden Wasser getrennt. Die besondere Mischung von Wasser und Alkohol erlaubt allerdings keine 100%ige Trennung.