



# KRAFTSTOFFE FÜR DIE ALLGEMEINE LUFTFAHRT HEUTE UND VIELLEICHT MORGEN

5. Konferenz für die allgemeine Luftfahrt, Schönhagen, 19.05.2014



# KRAFTSTOFFABSÄTZE IN DEUTSCHLAND 2013

▪ Amtliche Mineralöl Daten 2013 (Mengenangaben in Tonnen)

▪ Flugbenzin (AVGAS 100LL) 11.387

▪ Jet A-1 8.757.193

▪ Ottokraftstoff 18.419.666

▪ Dieselkraftstoff 34.143.216

▪ Die vergleichsweise geringen Absatzmengen an Flugbenzin (AVGAS 100 LL) in Deutschland sind Fluch und Segen zugleich

# KRAFTSTOFFE, DIE IN DER LUFTFAHRT VERWENDUNG FINDEN

- Sogenannte „Mitteldestillate“ sind zur Zeit eher eine Randerscheinung in der allgemeinen Luftfahrt

**Jet A-1**

**ASTM D1655  
DEF STAN 91-91**

**Dieselmkraftstoff**

**DIN EN 590**

- Einige Hersteller (SMA, Centurion, Austro Engine, ...) bieten Flugzeugmotoren an, die mit Kerosin (Jet) und/oder Dieselmkraftstoff betrieben werden können



Quelle:  
Frankfurter Allgemeine Zeitung  
vom 15.04.2014

# EINSATZ VON JET A-1 UND DIESELKRAFTSTOFF

- Die Versorgung mit Jet A-1 ist aus derzeitiger Sicht auch in 20 Jahren gesichert
- Zitat aus der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung:
  - „Die derzeit einzige denkbare Kraftstoffalternative zu fossilem Kerosin sind Biokraftstoffe (Biokerosin)“
- Dieses „Biokerosin“ wird zwar aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen, aber nach wie vor dem Jet A-1 gem. ASTM D1655 bzw. DEF STAN 91-91 entsprechen
- Versuche im Flugbetrieb mit „Biokerosin“-Beimischungen von hydrierten Pflanzenölen (NExBTL, Fa. Neste Oil) und Kerosin aus Zucker (Farnesan, Fa. Amyris/TOTAL) wurden bereits erfolgreich durchgeführt



2013:  
Airbus A320 Neo  
Mit Jet/Farnesan-  
Mischung

# KRAFTSTOFFE, DIE IN DER LUFTFAHRT VERWENDUNG FINDEN

- Ottokraftstoffe für allgemeine Luftfahrt

**AVGAS 100 LL**

**ASTM D910  
DEF STAN 91-90**

**AVGAS UL91**

**ASTM D7547**

**Ottokraftstoffe**

**DIN EN 228**

- Hier sind die Zukunftsperspektiven wesentlich komplexer
- Es gibt Studien (z.B. DLR), die auch für das Jahr 2040 von ca. 80% Anteil klassischen, fossilen Kraftstoffen im Mobilitätssektor ausgehen
- Das bedeutet, dass auch in 25 Jahren die klassischen Kraftstoffe keine schwer zu beschaffenden „Nischenprodukte“ sein werden, sondern flächendeckend verfügbare Standardkraftstoffe
- Allerdings haben derzeitige Ottokraftstoffe für die Luftfahrt spezielle Anforderungen, die vom Standardprodukt abweichen

## VERGLEICH DER PARAMETER VON OTTOKRAFTSTOFFEN, DIE IM LUFTFAHRTBEREICH EINGESETZT WERDEN

|                                | AVGAS 100 LL           | AVGAS<br>UL 91         | SuperPlus<br>(Mogas)       |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| Oktanzahl<br>min.              | 100<br>130             | MOZ 91,0<br>ROZ 96,0   | MOZ 88,0<br>ROZ 98,0       |
| Dampfdruck<br>[kPa] bei 37,8°C | min. 38,0<br>max. 49,0 | min. 38,0<br>max. 49,0 | 45 - 60 (S)<br>60 - 90 (W) |
| Schwefelgehalt<br>[mg/kg]      | max. 500               | max. 500               | max. 10                    |
| Bleigehalt [gPb/l]             | max. 0,56              | max. 0,013             | max. 0,005                 |

# AVGAS 100 LL: DAS PROBLEM IST DAS BLEI

Durch Zugabe von Tetraethylblei (TEL) wird eine hohe Klopfestigkeit (hohe Oktanzahl) des Kraftstoffs erreicht

TEL wurde in Ottokraftstoffen seit Mitte der 20er Jahren zur Verbesserung der Klopfestigkeit eingesetzt

Allerdings gelten Bleiverbindungen als stark gesundheitsgefährdend



## Verfügbarkeit von TEL

- TEL für AVGAS wird nur noch von Innospec (ehem. Octel) in Großbritannien hergestellt

## ZUKUNFT VON AVGAS 100LL

- Die Zukunft von AVGAS 100 LL entscheidet sich in den USA. Dort werden laut FAA ca. 70% der Flugzeuge betrieben, die AVGAS 100LL benötigen
- Desweiteren sind ca. 1,2 Mio. Arbeitsplätze in den USA vom Bereich General Aviation und somit auch von AVGAS 100 LL abhängig
- PAFI (Piston Aviation Fuel Initiative) in den USA bzgl. des Übergangs zu bleifreien Flugkraftstoffen. Die FAA ging 2012 von einer Übergangszeit von ca. 11 Jahren aus
- Das Ziel der FAA ist es, dass soweit als möglich alle Motoren/Flugzeuge, die für AVGAS 100 LL zugelassen sind, ohne Umbauten einen Ersatzkraftstoff verwenden können
- Stand (Juni 2013):
  - Kraftstoffproduzenten sollen bis 01. Juli 2014 Alternativkraftstoffe zu AVGAS 100 LL für weitere Tests zur Verfügung stellen.
  - Bis 2018 sollte ein Ersatzkraftstoff verfügbar sein, so dass bis 2025 die Flugzeugflotte umgestellt sein könnte
  - Die EASA verfolgt das FAA – Projekt mit großem Interesse, hat jedoch keine eigenen finanziellen Mittel, um dieses Projekt zu unterstützen (Stand: Februar 2014)



# MÖGLICHE ALTERNATIVEN ZU AVGAS 100 LL

- GAMI (Stand: August 2013)
  - G100UL
  - Umfangreiche Tests wurden durchgeführt
  - Befindet sich in der Zulassungsphase
- SWIFT FUEL (Stand: September 2013)
  - AVGAS 100 UL (teilweise auch als AVGAS 100 SF bezeichnet)
  - Befindet sich in der Zulassungsphase
  - Der Hersteller hofft, in einem bis drei Jahren entsprechende Mengen bereitstellen zu können
- SHELL (Stand: Dezember 2013)
  - Pressemitteilung am 3. Dezember 2013: Man hat einen Ersatzkraftstoff für AVGAS 100 LL entwickelt
    - Dieser Kraftstoff befindet sich in der Test und Zulassungsphase
- TOTAL (Stand: Februar 2014)
  - Entwicklung an einer Alternative zu AVGAS 100 LL läuft
  - Bevor sich TOTAL weiter an der FAA-Ausschreibung beteiligt, muß geklärt werden, welche Oktanzahl die bisher verwendeten Motoren überhaupt benötigen, und ob ein erhöhter Aromatengehalt von der FAA akzeptiert wird

# AROMATEN, WAS IST DAS PROBLEM?

- Aromatengehalt
  - Aromaten sind eine Klasse von Kohlenwasserstoffverbindungen (Beispiel: Benzol), die spezielle Eigenschaften haben
  - Um eine hohe Oktanzahl zu gewährleisten, können bei den Alternativkraftstoffen zu AVGAS 100LL mehr als 50% Aromaten enthalten sein
  - Vergleich:
    - In handelsüblichen Ottokraftstoffen gem. DIN EN 228 ist der Aromatengehalt auf maximal 35% begrenzt
- Auswirkungen in der Praxis
  - Verändertes Verbrennungsverhalten
  - Materialbeständigkeit
  - Gesundheitsschutz
    - Einigen aromatischen Verbindungen werden gesundheitsschädliche Eigenschaften zugeschrieben (Beispiel: Benzol, das als krebserzeugend gilt)

## ... UND AVGAS UL 91

AVGAS UL 91 wird zur Zeit an einigen Flugplätzen angeboten

- Ein zertifizierter Flugkraftstoff für Kolbenmotoren
- Verbindet die Eigenschaften Bleifreiheit, Ethanolfreiheit, hohe MOZ und ganzjährig niedrigen Dampfdruck miteinander
- Ist für verschiedene Motoren zugelassen, z.B. Rotax und einige Lycoming – Motoren
- Eine Alternative zu Ottokraftstoff SuperPlus, aber kein 100%-iger Ersatz für AVGAS 100 LL, da viele Motoren keine Freigabe für diesen Kraftstoff haben

ENGINE MODELS APPROVED FOR AVIATION FUELS

| Engine Models  | SPECIFIED FUELS<br>ASTM D910       |                                 | Alternate Military<br>and<br>Commercial Grades  |
|--|------------------------------------|---------------------------------|---|
|  | Certificated For Use<br>With Grade | Commercial Grade<br>Designation |   |
| O-235-C, -E, -H; O-290-D; O-435-A, -C  | 80                                 | 80                              | AVGAS 91/96 UL<br>ⓄB91/115<br>or<br>Ⓞ91<br>or<br>ⓄⓄ100LL<br>or<br>ⓄⓄⓄ100<br>or<br>ⓄⓄⓄⓄ100/130 |
| O-290-D2; O-320-A, -C, -E; IO-320-A, -E; AEIO-320-E; O-340-B; O-360-B, -D; GO-435-C2*; VO-435-A; GO-480-B, -D, -F; O-540-B; VO-540-A, -B   | 80/87                              | 80                              | AVGAS 91/96 UL<br>ⓄB91/115<br>or<br>Ⓞ91<br>or<br>ⓄⓄ100LL<br>or<br>ⓄⓄⓄ100<br>or<br>ⓄⓄⓄⓄ100/130 |
| O-320-B, -D; IO-320-B, -D; LIO-320-B1A; AEIO-320-D; AIO-320-A, -B, -C; O-360-A, -C, -F, -G, -J; IO-360-B, -E, -L, -M; LO-360-A; AEIO-360-B, -H; VO-360-A, -B; IVO-360-A; HO-360-A, -B, -C; HIO-360-B; O-435-A2; GO-435-C2*; O-480-A; O-540-A, -D, -E, -F, -G, -H; IO-540-C, -D, -E, -N, -T; AEIO-540-D | 91/96                              | 100LL<br>or<br>100              | AVGAS 91/96UL<br>or<br>ⓄB91/115<br>or<br>Ⓞ91<br>or<br>Ⓞ100/130<br>or<br>Ⓞ115/145              |

Auszug aus der Lycoming  
Service – Information 1070Q  
mit Freigaben für AVGAS UL 91

# MOGAS (OTTOKRAFTSTOFF SUPERPLUS) FÜR DIE LUFTFAHRT

Ottokraftstoffe für Fahrzeugmotoren wurden von einigen Motorenherstellern auch für die Verwendung in Flugzeugen freigegeben.

Auszug aus einer Freigabe durch einen Hersteller:

5.3) Kraftstoff entsprechend lokaler Normen  
Nachstehende Kraftstoffe können verwendet werden.

|                   | Verwendung / Bezeichnung              |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
|                   | 912 UL / A / F                        | 912 ULS / S - 914 UL / F              |
| <b>MOGAS</b>      |                                       |                                       |
| Europäische Norm  | EN 228 Normal <sup>1)</sup>           |                                       |
|                   | EN 228 Super <sup>1)</sup>            | EN 228 Super <sup>2)</sup>            |
|                   | EN 228 Super plus <sup>1)</sup>       | EN 228 Super plus <sup>2)</sup>       |
| Kanadische Norm   | CAN/CGSB-3.5 Qualität 1 <sup>3)</sup> | CAN/CGSB-3.5 Qualität 3 <sup>4)</sup> |
| US Norm           | ASTM D4814 <sup>3)</sup>              | ASTM D4814 <sup>4)</sup>              |
| <b>AVGAS</b>      |                                       |                                       |
| Aviation Standard | AVGAS 100 LL (ASTM D910)              | AVGAS 100 LL (ASTM D910)              |



Ottokraftstoff SuperPlus

# WAS UNTERSCHIEDET OTTOKRAFTSTOFF SUPERPLUS FÜR DIE LUFTFAHRT VOM PRODUKT AN STRASSENTANKSTELLEN

Beide Produkte entsprechen der DIN EN 228

- Man kann also bedenkenlos einen PKW mit OK SuperPlus für die Luftfahrt betreiben

Warum sollte man allerdings keinen Ottokraftstoff SuperPlus von der Straßentankstelle für ein Flugzeug verwenden?

- Ggf. nicht definierte Restprodukte in Kanistern („wilde Kanisterbetankung“)
- Rost, Staub, Wasser in Kanistern
- Nicht zertifizierter Flugkraftstoff
- Kraftstoffe für die Luftfahrt unterliegen einem sehr aufwendigen Qualitätssicherungsverfahren
- Damit wird z.B. sichergestellt, dass Ottokraftstoffe für die Luftfahrt weniger als 1% (V/V) Ethanol enthalten, da einige Motorenhersteller Freigaben bis zu dieser max. Konzentration erteilt haben
- Jeder Schritt in der Logistikkette wird durch Analysen kontrolliert und mit Zertifikaten dokumentiert

# AUCH SEITENS DER PILOTEN SIND KONTROLLEN NOTWENDIG !!

Die Vorflugkontrolle sollte ein „Muß“ und kein Luxus sein

Dies ist in der Flugsicherheitsmitteilung 1/85 des Luftfahrt-Bundesamts dokumentiert

Auch das „Drainen“ des Kraftstofftanks ist in der fsm 2/84 beschrieben

Nur in den seltensten Fällen ist der Kraftstoff im Flugzeugtank mit dem Kraftstoff aus der Betankungsanlage identisch

Es wird fast immer auf Restmengen an Kraftstoff im Tank aufgetankt



## KÜNFTIGE ENTWICKLUNG BEIM OTTOKRAFTSTOFF ???

- Seitens der Politik bestand die Forderung, den Anteil von nachwachsenden Energieträgern im Kraftstoff zu erhöhen
- Zur Zeit sind max. 10% (V/V) Ethanol im Ottokraftstoff erhältlich
- Ein weiterer Anstieg war bisher politisch erwünscht, ist aber nicht mehr sicher
- Nach der misslungenen E10-Einführung werden Biokraftstoffe nicht mehr so euphorisch gesehen
- Meldung aus der Presse vom 04.03.2014:

Bundesumweltministerin Barbara Hendricks (SPD) sieht ernste Hinweise darauf, dass Biokraftstoffe letztendlich zu einer schlechteren Ökobilanz führen. (eot 04.03.2014)

# FREIGABEN VON ETHANOLHALTIGEN KRAFTSTOFFEN

## Aussagen von Herstellern zur Verwendung ethanolhaltiger Kraftstoffe

### ROTAX:

#### 5) Kraftstoff

Für den ROTAX® Flugmotor stehen eine Vielzahl von Kraftstoffen zur Auswahl. Siehe dazu auch das Betriebs- handbuch der entsprechenden Motortype und/oder Tabelle in Kap. 5.3.

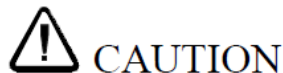
##### 5.1) Auto-Kraftstoffe

Neben AVGAS gibt es automotive Kraftstoffe unterschiedlicher Qualität. Aufgrund von diversen Auflagen wie Umweltschutz, ökonomischen und politischen Gründen sind nun vermehrt Kraftstoffe mit unterschied- lich hoher Ethanolbeimischung erhältlich. Daher wurde die max. zulässige Beimengung von Ethanol wie nachfolgend festgelegt.

##### 5.1.1) E10 (Unverbleiter Kraftstoff mit 10% Ethanolbeimengung)

Zusätzlich zu AVGAS und unverbleitem Auto-Kraftstoff (Mogas) kann nun auch E10 für den ROTAX® Motor Type 912 und 914 Serie verwendet werden. Kraftstoffe mit mehr als 10 % Ethanol sind von ROTAX® nicht getestet und sind daher auch nicht zur Verwendung freigegeben.

### Lycoming:



Ethanol is not allowed. Ethanol-based fuels may not be compatible with some fuel system components. In cases of materials incompatibility, deterioration of metallic and non-metallic components can occur.



## EASA – PROJEKT AUS DEM JAHR 2007

- **Die Europäische Flugsicherheitsbehörde, EASA, hatte ein Projekt initiiert, das sich mit der Auswirkung eines Ethanolanteils von max. 15% (V/V) auf die Luftfahrt beschäftigt hat.**
- **Hierbei ging es um spezifischen Auswirkungen von Ethanol im Kraftstoff hinsichtlich der speziellen Bedingungen im Flugbetrieb**

## EFFEKTE VON ETHANOL IM KRAFTSTOFF

- Sobald Wasser vorhanden ist, wird sich Ethanol bevorzugt in Wasser lösen.
- Es kann zur „Phasentrennung“ kommen
- Beim Ansaugen der Ethanol-/Wasserphase wird es zu Motorenproblemen kommen
- Ethanol kann zu einem Reinigungseffekt führen, d.h. Rost aus Metalltanks und Rohrleitungen kann angelöst werden und den Kraftstoff verunreinigen



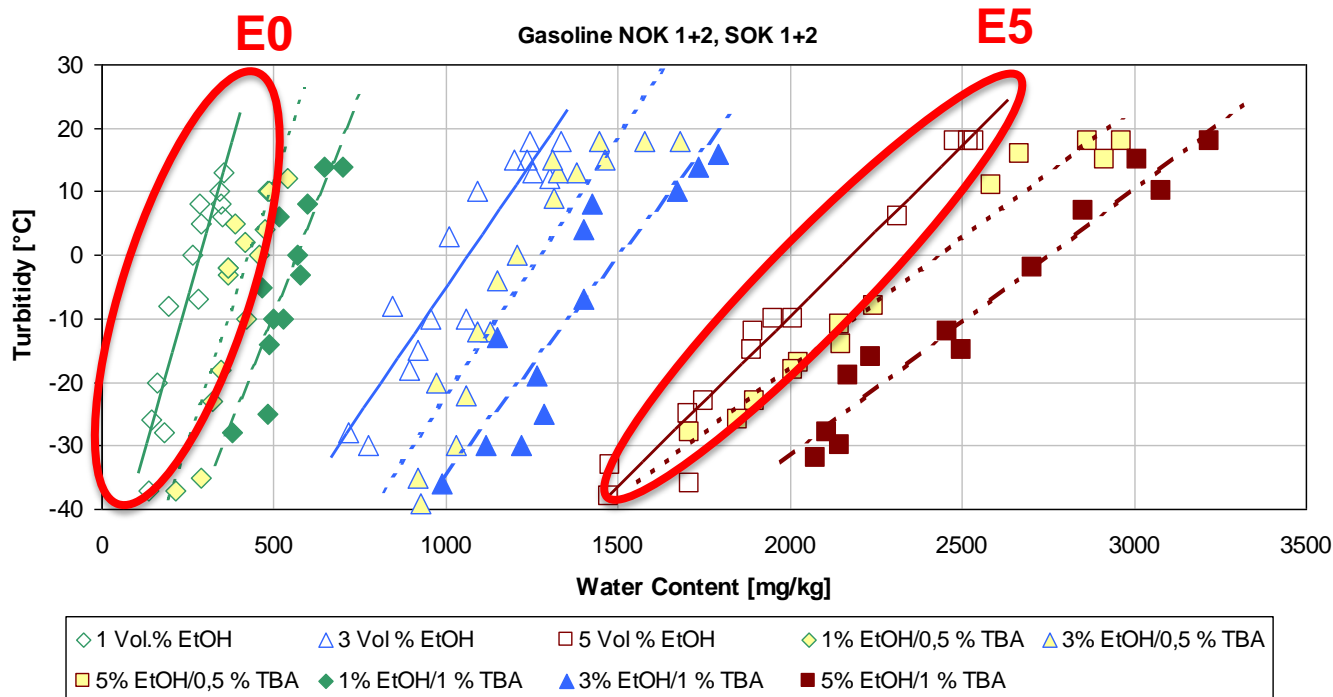
# LÖSLICHKEIT VON WASSER IM KRAFTSTOFF?

- Das Wasseraufnahmevermögen nimmt mit steigendem Ethanolgehalt zu:

**E0 (ethanolfrei):** ca. 400 ppm (Literaturwert 50 – 500 ppm)

**E5:** ca. 2.500 ppm (ppm = mg/kg)

**E10:** ca. 5.000 ppm



Quelle: CONCAWE

# WARUM IST WASSER IN FLUGKRAFTSTOFFEN GEFÄHRLICH ?

Blockierung des Kraftstoffsystems des Flugzeugs durch Eiskristalle in großen Höhen bzw. Beeinflussung der Kraftstoffventile

- Große Wassermengen können zum Motorausfall führen

Förderung der Korrosion von Metallteilen in der gesamten Logistikkette

Konsequenz:

- Achten Sie darauf, dass kein Wassereintrag in Flugzeugtanks stattfindet.

Eisbildung durch Wasser im Kraftstoff

Vereisung durch Wasser im Kraftstoff.

**ACHTUNG**

Alkoholhaltige Kraftstoffe haben stets geringe Wassermengen gelöst. Bei Veränderung von Temperatur und Erhöhung des Alkoholgehaltes kann sich Wasser oder ein Alkohol-Wassergemisch absetzen und zu Störungen führen.

Quelle: Rotax

Wasser im Kraftstoff setzt sich an tief liegenden Punkten des Kraftstoffsystems ab und führt zu Einfrieren von Leitungen, Filtern oder Düsen.

Abhilfe

- Wasserfreies Tanken
- Großzügig dimensionierter Wasserabscheider
- Fallende Leitungsanordnung
- Vermeidung von Kondenswasserbildung, d. h. möglichst gleichbleibende Temperatur von Flugzeug und Kraftstoff.

## WEITERE ERGEBNISSE DES EASA - PROJEKTS

### Zusätzliche Möglichkeiten des Wassereintrags

- **Tiefer liegende Tankverschlüsse**
- **Lange Standzeiten und dadurch Eintrag von Luftfeuchtigkeit (besonders über die Wintersaison)**

### Materialunverträglichkeiten

- **Mangelnde Beständigkeit von Tanks, Dichtungen und anderen Teilen des Flugzeugs gegenüber Ethanol**
  - **Besonders bei älteren Flugzeugen ist heute häufig nicht mehr nachvollziehbar, welche Materialien verbaut wurden und welche Beständigkeit diese gegenüber Ethanol aufweisen**

## FAZIT ZU DEN „KLASSISCHEN“ KRAFTSTOFFEN

- **Jet A-1 sowie Diesel- und Ottokraftstoffe werden auch noch im Jahr 2040 flächendeckend verfügbar sein**
- **Wer will, kann voraussichtlich auch dann noch mit Ottokraftstoff fliegen**
- **Allerdings dürfte dies kein AVGAS 100LL sein, so wie wir es heute kennen**
  - **Ersatzkraftstoffe befinden sich in der Entwicklung**
- **Hauptproblem dürften ältere Flugzeuge / Motoren sein, bei denen Freigaben für Alternativkraftstoffe nur schwer möglich sind**
- **Die Verwendung von Ottokraftstoffen mit Alkoholbeimischungen im Flugbetrieb ist möglich, allerdings nur unter Beachtung besonderer Maßnahmen (z.B. Wasserfreiheit etc.)**
- **Fraglich ist auch die politische Entwicklung bezüglich der Biokraftstoffe**

# ANDERE ALTERNATIVEN FÜR FLUGKRAFTSTOFFE?

- Flüssiggas, Erdgas, Wasserstoff??
- Im KFZ-Bereich bekannt. Erdgas wird z.Zt. auch politisch unterstützt
- Im Luftfahrtbereich gibt es erste Berichte über den erfolgreichen Einsatz von CNG (Compressed Natural Gas) (vgl. plane and pilot magazin 03/14)



Aviat Husky 200 HP CNG Dual Fuel

Quelle: Aviat Aircraft Inc.

# ERDGAS ALS FLUGKRAFTSTOFF

- **Die Vorteile liegen klar auf der Hand**
  - **Oktanzahl von CNG ca. 130**
  - **Bleifrei**
  - **Preisgünstig (z.Zt.)**
  - **Sicher. Im KFZ-Bereich gab es bisher keine schweren Unfälle, die mit dem CNG-Antrieb in Verbindung standen**
  
- **Nachteile ???**
  - **Umrüstung des Flugzeugs wäre notwendig**
  - **Völlig neue Logistik. Die „alten“ Betankungsanlagen können nicht mehr genutzt werden, da CNG-Behälter Druckbehälter sind**



# ANDERE ALTERNATIVEN FÜR FLUGKRAFTSTOFFE?

- Es sind noch viele weitere Kraftstoffe, auch auf biogener Basis, denkbar
- Allerdings gilt:

**Not every advanced biofuel is for advanced engines**

(A. Røj, Fa. Volvo)

- Vielleicht fliegen wir in der Zukunft auch elektrisch

**Sind wir also gespannt auf den nächsten Vortrag**

**VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT  
ALLZEIT GUTEN FLUG SOWIE IMMER EINE SICHERE LANDUNG!!**

