

Der Freikolbenlineargenerator

Ein Range-Extender mit Potenzial

Florian Kock
MunichExpo e-Monday
25. März 2013

Wissen für Morgen



Gliederung

- Motivation
- Der FKLG: Technologie
- Entwicklung im DLR
- Aktueller Stand: Proof of Concept
- Zusammenfassung & Ausblick



FKLG Grundlagen

Motivation Range-Extender

- Range Extender-Fahrzeug als ein Powertrain-Konzept der Zukunft
- Günstiges Verhältnis von Batteriekosten zu Gesamtreichweite
- Lokal emissionsfrei im Stadtverkehr
- Mögliche Kraftstoffe:
 - Benzin / Diesel
 - Erdgas
 - Biokraftstoffe
 - Wasserstoff



Quellen: BMW, DLR



Range-Extender

Anforderungen an einen Range-Extender

Effizienz

Emissionen

Packaging

Modularität

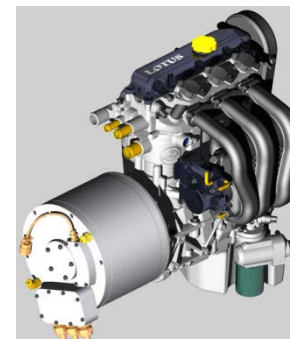
Kosten

NVH

Kraftstoffflexibilität



Mikrogasturbine



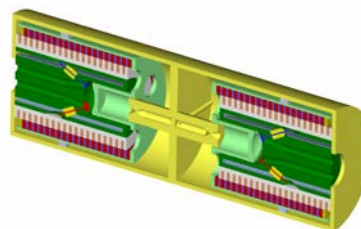
Hubkolbenmotor



Brennstoffzelle



Wankelmotor



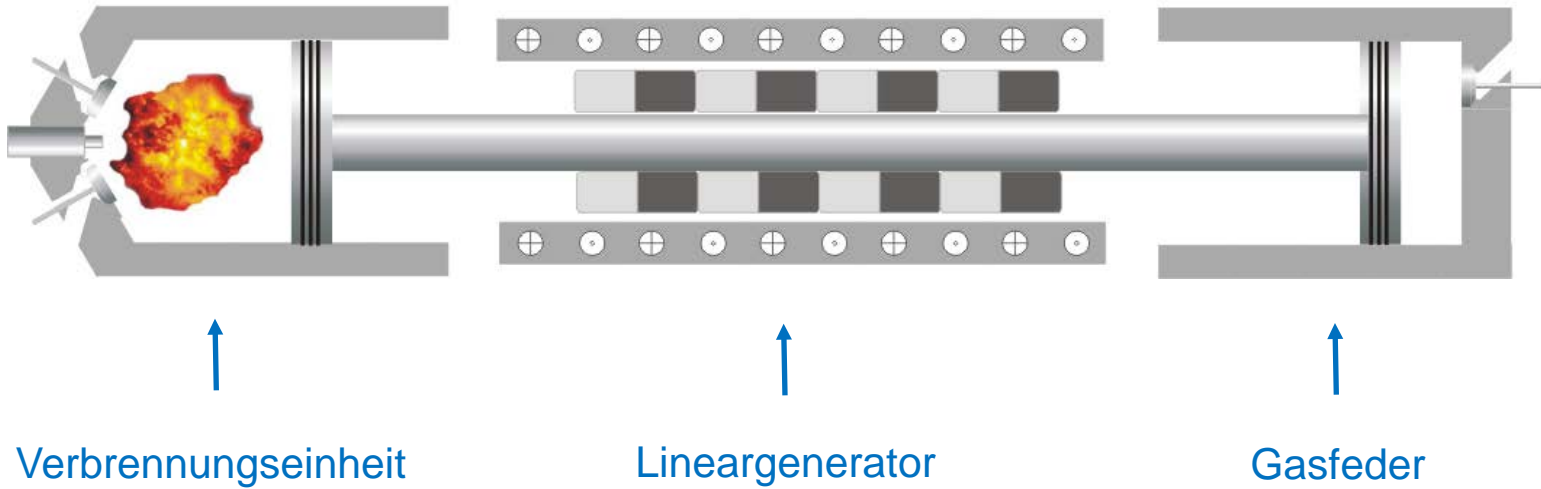
Freikolbenlineargenerator

Bildquellen: Audi, Lotus, Jaguar, DLR



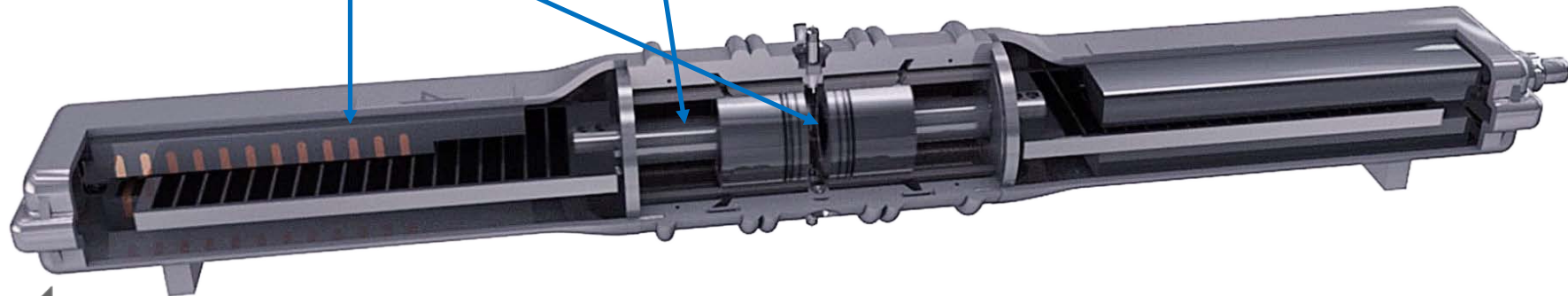
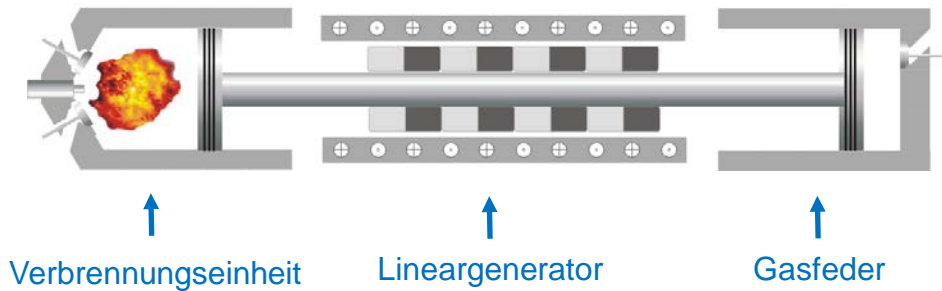
Der Freikolbenlineargenerator

Funktionsweise



Der Freikolbenlineargenerator

Funktionsweise



Der Freikolbenlineargenerator

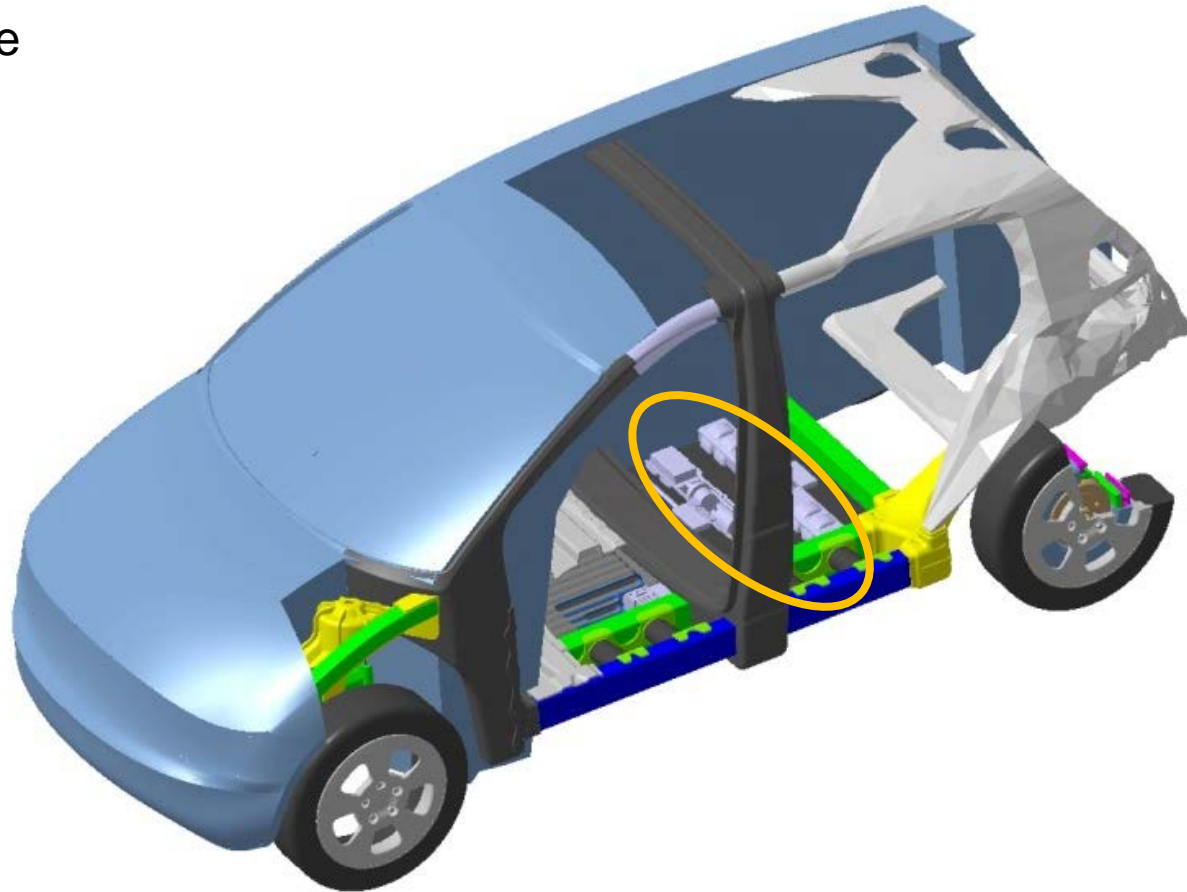
Potentiale

Features	Potentiale
Variable Verdichtung	<ul style="list-style-type: none">- Kontrollierte Selbstzündung (HCCI)- Sehr gute Flexfuel - Tauglichkeit- Verbesserte Teillastwirkungsgrade
Variabler Hubraum	<ul style="list-style-type: none">- Online - Downsizing des Motors- Verbesserte Teillastwirkungsgrade
Einfacher Aufbau ohne Kurbeltrieb	<ul style="list-style-type: none">- Kompakte Bauweise- Weniger bewegte Teile- Reibungs- und Verschleißreduktion- Zylinderabschaltung (paarweise)- gutes NVH-Verhalten (Massenausgleich)



Vom Antriebs- zum Fahrzeugkonzept

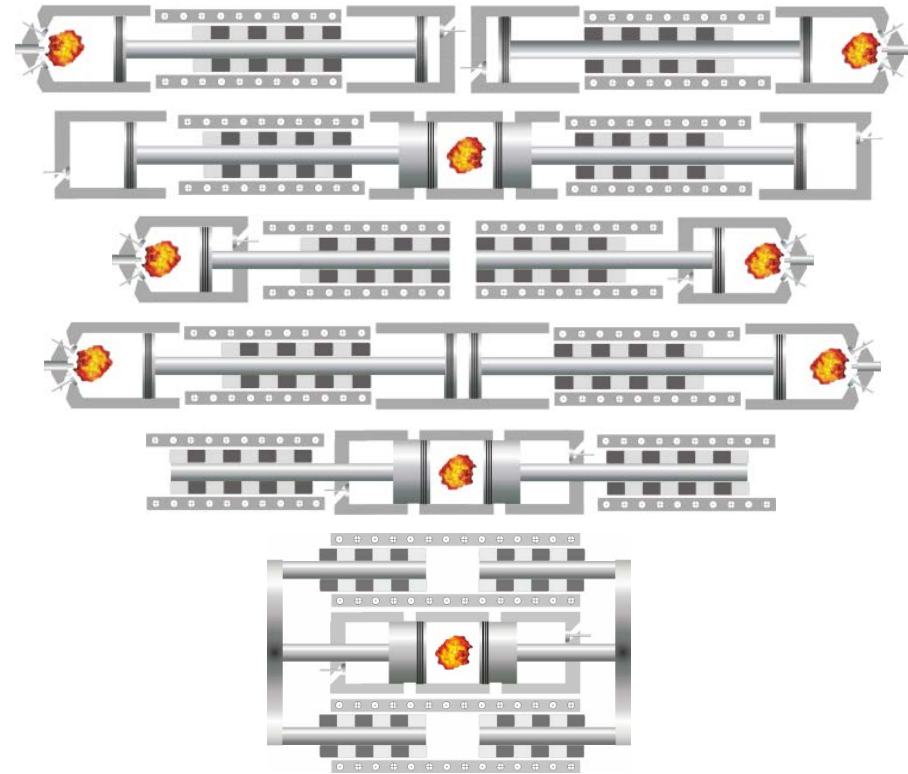
- Range-Extender ohne mechanischen Durchgriff
- beliebige Anordnung im Fahrzeug, z.B. im Unterboden
- Modularität REX / Batterie



Der Freikolbenlineargenerator

Konzeptauswahl je nach Randbedingungen

- Einzel- / Zentralbrennraum
- Gasfeder separat / integriert
- Öl- / Mangel- / Trockenschmierung
- Kopf- / Schlitzsteuerung
- LG koaxial / desachsiert



„Den“ FKLG gibt es nicht. Unterschiedliche Aufbauvariante je nach Fahrzeuganforderung zielführend, mit i.d.R. unterschiedlichen Potenzialen und Risiken



Gliederung

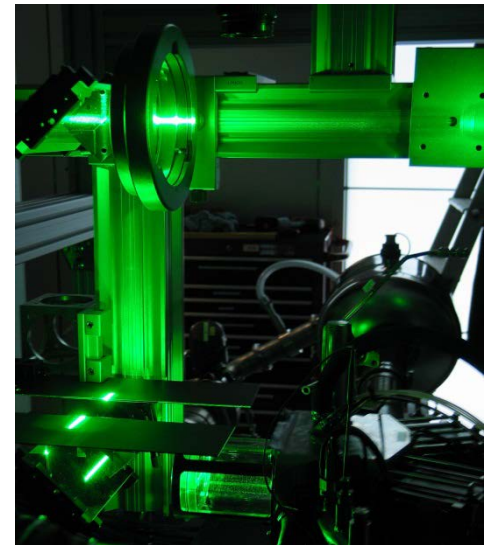
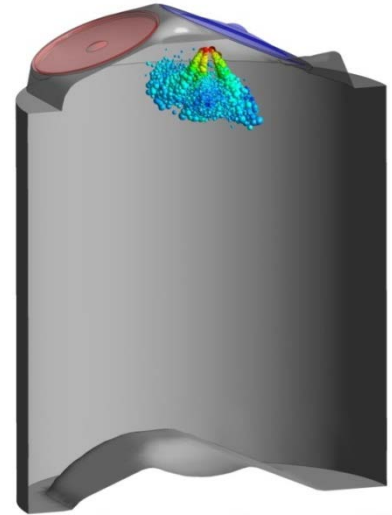
- Motivation
- Der FKLG: Technologie
- Entwicklung im DLR
- Aktueller Stand: Proof of Concept
- Zusammenfassung & Ausblick



FKLG-Entwicklung im DLR

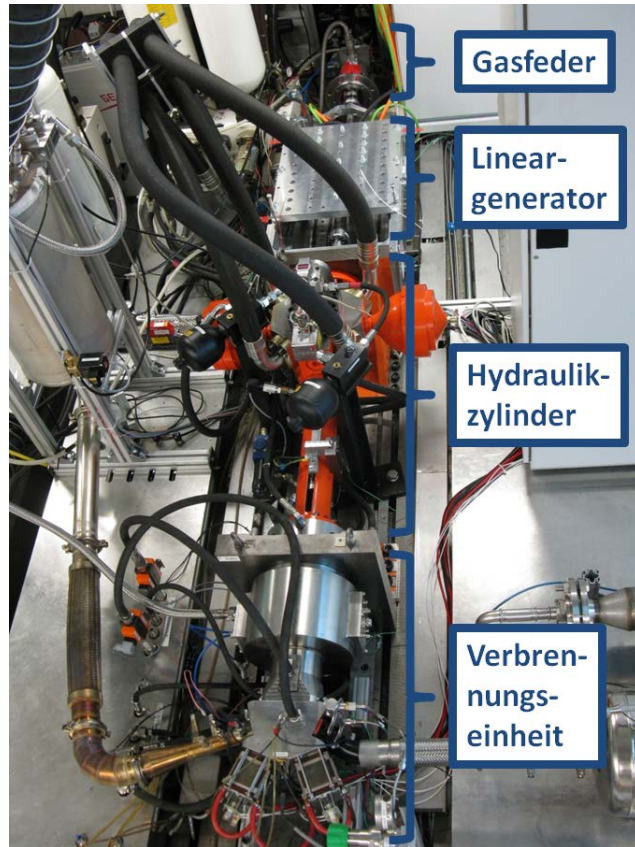
Verbrennungsteil

- 2-Takt DI-Otto, kopfgespült
- Einzelbrennraum mit elektromagnetischem Ventiltrieb (EMVT)
- Fremd- oder Selbstzündung (HCCI experimentell umgesetzt)
- Simulationen von Ladungswechsel, Gemischbildung und Verbrennung in 0D, 1D und 3D-CFD
- Laseroptische Untersuchungen (PIV, LIF)



FKLG-Entwicklung im DLR

Hydraulischer Motorenprüfstand



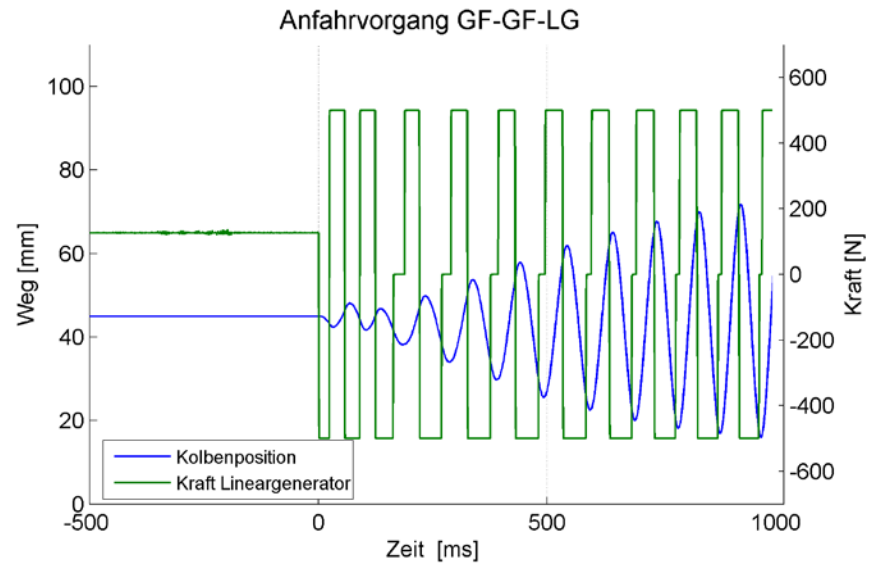
- Kolbenbewegung hydraulisch aufgeprägt
- Extrem variabler Motorenprüfstand (u.a. Verdichtung, Hub, Steuerzeiten im Betrieb veränderlich)
- Jedes Teilsystem einzeln untersuchbar
- Fail-Safe
- Teilsysteme modular kombinierbar, mit hydraulischer Unterstützung oder freischwingend



FKLG-Entwicklung im DLR

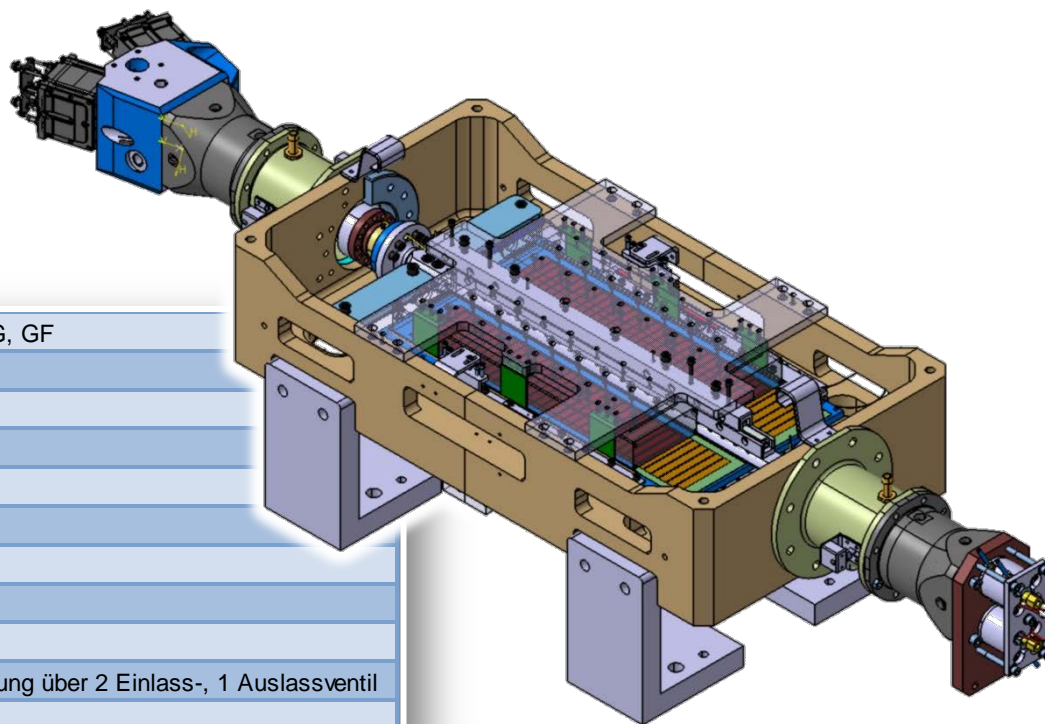
Steuerung & Regelung

- Aktive Regelung von Hub und Verdichtung („elektronische Kurbelwelle“)
- Hierarchische Struktur zur Koordination aller drei Teilsysteme
- Modellbasierter prädiktiver Regler
- Implementierung auf Multiprozessor Rapid-Control-Prototyping-System (dSPACE)
- Regelabweichung Totpunkte
 - $\Delta x_{UT} < 1,5 \text{ mm}$
 - $\Delta x_{OT} < 0,1 \text{ mm}$



Aktueller Stand

Funktionsdemonstrator FKLG



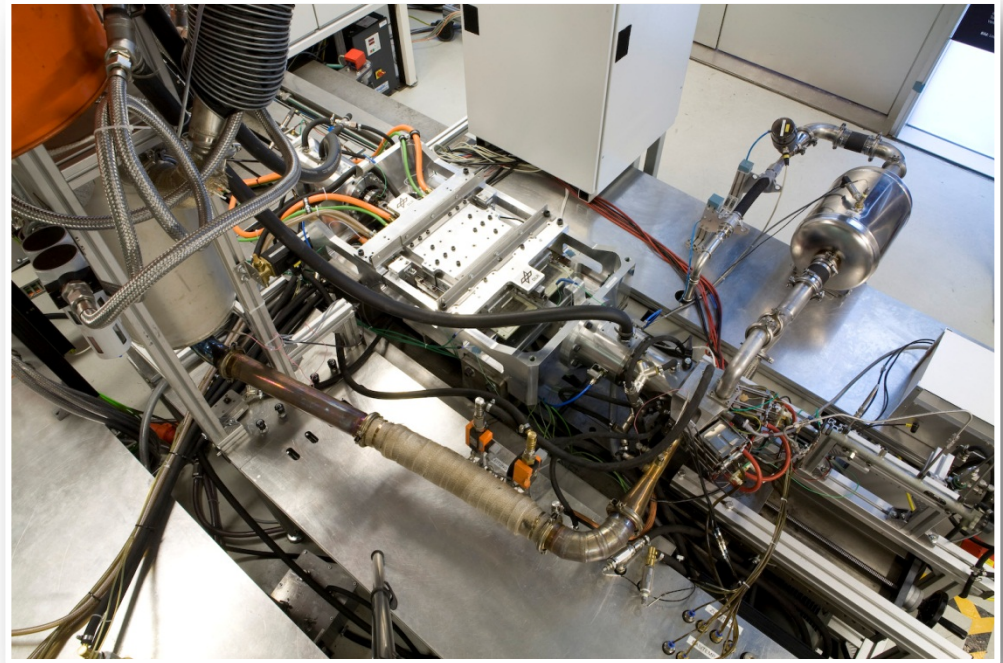
Aufbau		Einzelkolben, LG, GF
Brennverfahren		2-Takt Otto
Hubraum	cm ³	321 - 481
Leistung (indiziert)	kW	0 - 12
Betriebsfrequenz	Hz	16 - 21
bewegte Masse	kg	35,12
Bohrung	mm	82,5
Hub	mm	60 - 90
Ladedruck	bar rel.	0,2 - 1,0
Ladungswechsel		Kopfumkehrspülung über 2 Einlass-, 1 Auslassventil
Verdichtung Verbr.-Teil		7 - 11
Einspritzung		Direkteinspritzung, zentraler Mehrlochinjektor
Verdichtung Gasfeder		2,5 - 15
Kraft Lineargenerator	N	typisch 4000, max. 12000



Aktueller Stand

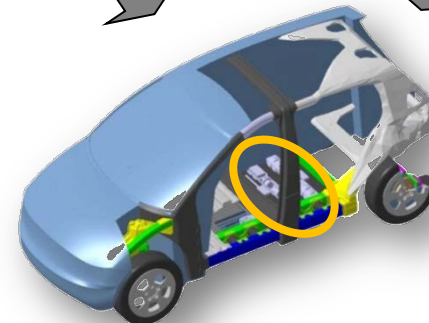
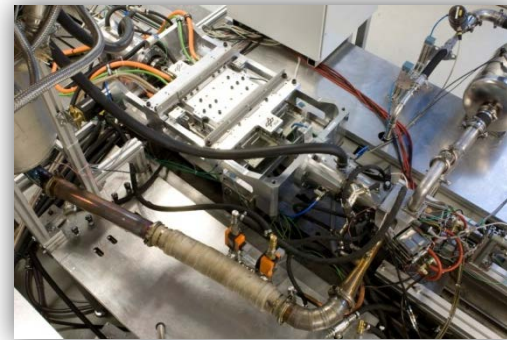
„Proof of Concept“ am 12.12.2012

- Freie Schwingung des Kolbensystems
- Erstmals „netto“ elektrische Energie ausgekoppelt
- Messdaten (Feb. 2013):
 - $8,0 \text{ kW}_{\text{el}}$ (= Teillast)
 - 19,5 Hz
 - Einlassdruck 1,6 bar absolut
- Weltweit erstmaliger Betrieb eines Freikolbenmotors dieser Bauart (VB-GF-LG)



Ausblick

- Mehrere Varianten für Fahrzeugeinsatz möglich
- Kompaktheit und Leistungsdichte: Deutliche Steigerung möglich
- Synchronisiertes System mit zwei Kolbeneinheiten
- Zentralbrennraum mit Schlitzsteuerung wird evaluiert
- Weiterentwicklungen in den Bereichen Gasfeder, Lagerung, Emissionen und Aufladung



Zusammenfassung

- Das DLR entwickelt mit dem FKLG ein Range-Extender-Aggregat, das in der Summe seiner Eigenschaften großes Potenzial verspricht.
- Der Proof of Concept wurde Ende 2012 erbracht.
- Für den serientauglichen FKLG ist zwischen unterschiedlichen Bauarten abzuwägen.

