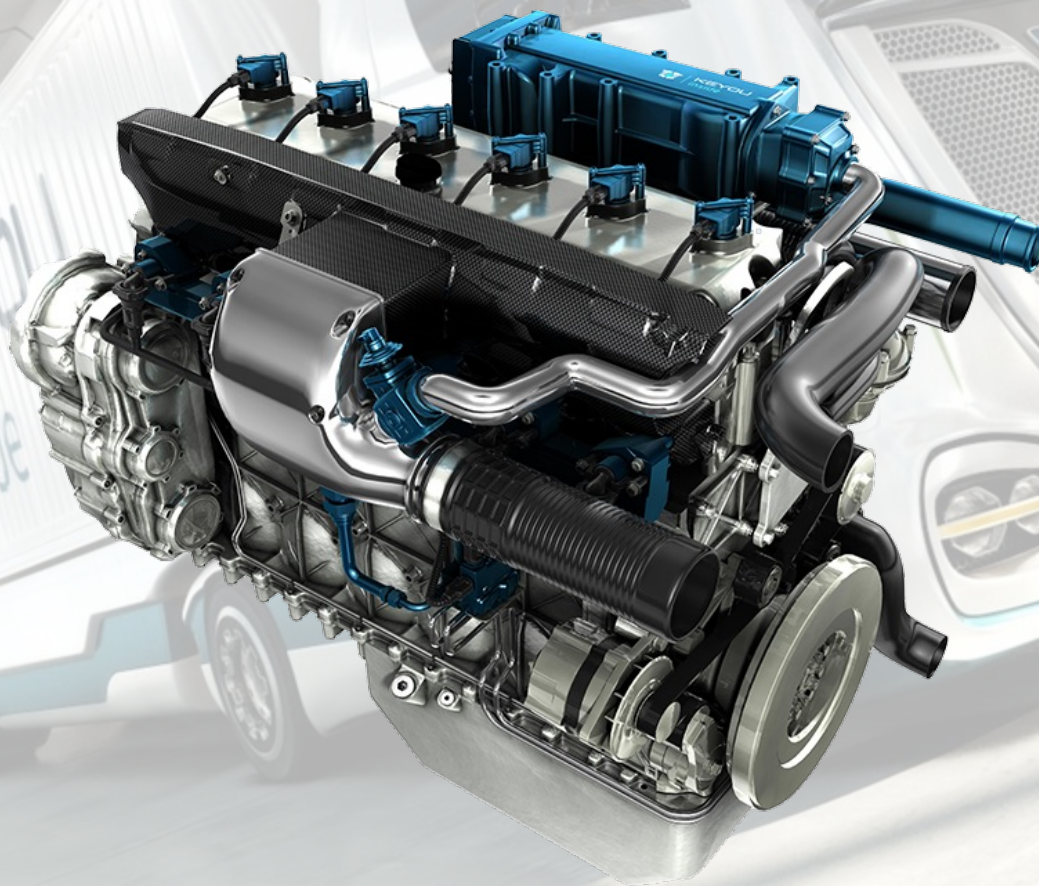


KEYOU for Niedersächsisches Wasserstoff Netzwerk 15. Juni | Jürgen Nadler, CMO, KEYOU GmbH

# Der Wasserstoffmotor als attraktive Alternative im Nutzfahrzeugsektor – für Neu- und Bestandsfahrzeuge



Co-funded by the Horizon 2020 programme of the European Union



Federal Ministry for Digital and Transport

Sponsored by



Bavarian Ministry of Economic Affairs, Regional Development and Energy



20+

## Jahre Erfahrung

Unsere Gründer waren aktiv der Entwicklung und Markteinführung des weltweit ersten Rennwagens mit HICE-Antrieb im Jahr 2013 beteiligt

8

## Patente

7 angemeldete Patente, 1 erteilt

70+

## Engagierte Fachleute

Mit branchenführender Erfahrung und Kompetenz

44.5  
%

## Weltrekord: Effizientester H2 Motor

Mit 44,5% Wirkungsgrad stellen wir aktuell den effizientesten Wasserstoffmotor

15+

## Kunden, Lieferanten & Partner

Zahlreiche OEMs und führende Zulieferer aus der Automobilindustrie zählen zu unseren Partnern und Kunden

6

## Auszeichnungen

Ein Award pro Jahr

## GRÜNDER & MANAGEMENT



### OLAF BERGNER

CFO

25 Jahre Finanzen Europa / Kanada (P7S1, Bertelsmann, ARBOmedia AG,)



### THOMAS KORN

CEO, Co-Founder

13 Jahre BMW R&D Deutschland / USA  
11 Jahre Start-Up Erfahrung



### JÜRGEN NADLER

CMO

20 Jahre Business Consulting (u.a. BMW, Siemens, Telekom)



### MARKUS SCHNEIDER

COO, Co-Founder

17 Jahre BMW Deutschland / USA / China / 5 Jahre Start-Up Erfahrung



### ALVARO SOUSA

CTO, Co-Founder

8 Jahre BMW R&D Deutschland / USA / 11 Jahre Start-Up Erfahrung



Die Mitglieder des Beirats von KEYOU sind mit ihrer langjährigen Erfahrung in der Automobilbranche ein wichtiger Sparringspartner für unser Managementteam. Gemeinsam diskutiert man über strategische Themen und die Herausforderungen der Zukunft, manchmal „nur“ über die tägliche Unternehmenspraxis, um die richtigen Entscheidungen im Sinne von KEYOU zu treffen.



**Prof. Dr. MANUEL AGUIAR**

*Top Manager mit großem  
Sozialengagement,  
Universitätsprofessor*



**RUDOLF ELLENSOHN**

*Erfahrener Automobilexperte  
C-Level Liebherr, IVECO*



**Dr. ULRICH BEZ HonDTech**

*Automobilingenieur und  
Visionär C-Level Porsche,  
Aston Martin*



**Prof. Dr. JÖRG ZÜRN**

*Unternehmerpersönlichkeit mit  
34 Jahren Berufserfahrung im  
Daimlerkonzern (C-Level)*

„The hydrogen  
engine is on its  
way!“

**Tom Korn**

CEO & Co-Founder



# Egal, ob On-Road oder Off-Road - „The Hydrogen Engine is on its Way“



GAC Group



TOYOTA



DAIMLER



FAW GROUP



LIEBHERR





## Der Wasserstoffverbrenner hat Gamechanger-Potenzial



Meinung

von Sven Bennühr

Ihr Feedback



Teilen



Drucken



ANZEIGE



14. Juni 2023

Der Grundgedanke ist so einfach wie einleuchtend: Warum sollte man beim Lkw auf die komplexe Brennstoffzellen-Technik setzen, wenn ein Wasserstoff-Verbrenner so viel weniger aufwendig ist? Anstatt eine kleine Chemiefabrik mit anspruchsvoller Kühltechnik einzubauen, rüstet man den Diesel zu einem Ottomotor um und nutzt per Verbrennung die Energie von gasförmigem Wasserstoff. Die Technik ist in der Anschaffung vergleichsweise günstig und im Handling einfach.

Abgesehen davon: Als Verbrennungsmotor ist die Wasserstoffalternative nicht auf absolut reinen Wasserstoff angewiesen, sondern kann den Kraftstoff auch in minderer Qualität nutzen - das senkt die Kraftstoffkosten. Allerdings gibt es auch einen Nachteil: Da der Verbrenner weiterhin auf Schmierstoffe angewiesen ist, läuft er nicht ganz CO<sub>2</sub>-frei.

Zudem ist der Wasserstoffverbrenner hinsichtlich seiner Verbrauchseffizienz noch nicht da, wo die Ingenieure ihn gern hätten. Aber laut den Entwicklern ist man auf einem gutem Weg - zumindest Daf Trucks will bereits 2027 so weit sein. Ähnlich dürfte es bei Volvo Trucks und anderen Herstellern aussehen. Und dann könnte die Technik eine ernsthafte, kostengünstige Alternative mit Gamechanger-Potenzial werden.

A large, thick blue arrow pointing upwards and to the right, positioned to the left of the main text.

# ALTERNATIVE

# Wasserstoffmotor





# Maximale Performance durch Zusammenspiel aller H2-Komponenten



## ZÜNDSYSTEM

Zündmodul & Zündkerzen: Spezifische Zündspannung und Zündenergie kombiniert mit den richtigen Zündkerzen.

## SYSTEM ZUR H2-DRUCKREGELUNG

Elektronisches Druckregelventil: Präzise Regelung über einen weiten Durchflussbereich mit schnellen Übergängen zwischen Nennleistung und Leerlauf.

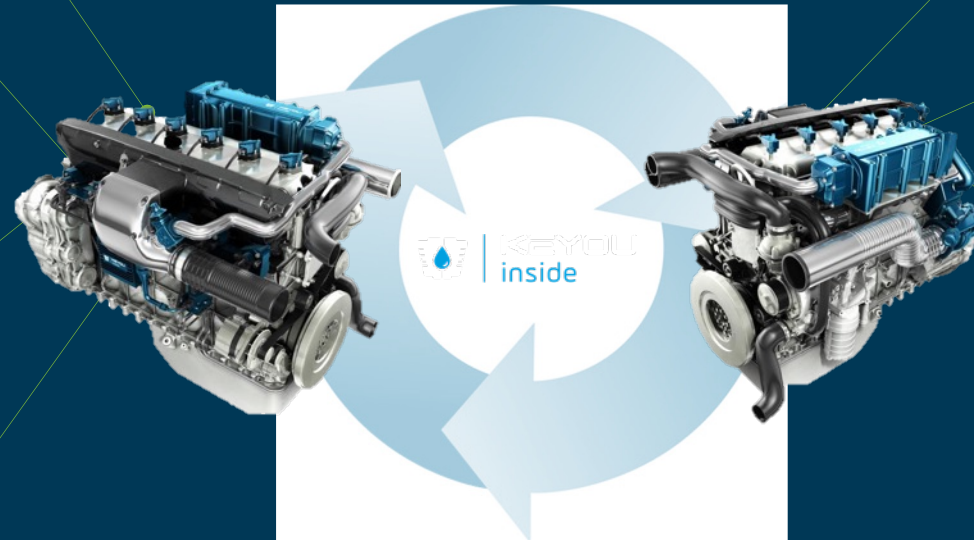
## EINBLASESYSTEM

Rail & Injektoren: Optimierter H2-Einspritzvorgang mit bestmöglicher Gemisch-Homogenisierung im gesamten Kennfeld.

## ECU MIT INTEGRIERTER H2-SOFTWARE

Motorbetriebsstrategie: Kombiniertes qualitäts- und quantitativ geregelter Betrieb mit optimierter AGR-Betriebsstrategie.

## KEYOU-inside System



Mit der KEYOU-Technologie werden konventionelle Dieselmotoren zu hochleistungsfähigen, emissionsfreien H<sub>2</sub>-Motoren weiterentwickelt

## VENTILSYSTEM

Ventile & Ventilsitze: Optimierte Werkstoffe zur Gewährleistung maximaler Lebensdauer bei fehlenden Schmiereigenschaften des Kraftstoffs.

## KOLBENSYSTEM

Kolben & Kolbenringe: Optimierte Kolben- und Kolbenringauslegung für hohe Gemisch-Homogenisierung, Vermeidung von Verbrennungsanomalien

## SYSTEM ZUR ABGASRÜCKFÜHRUNG

Kühler & Ventil: hohe Kühlleistung und exakte Regelung der AGR-Rate.

## AUFLADESYSTEM

Turbolader: spezifische Auslegung infolge geringer Abgasenthalpie für hohe Aufladegrade und hohes Low-end Torque.



## Emissionsbetrachtung beim umgerüsteten Wasserstoffmotor

	Diesel (Euro VI)	KEYOU (Zielwerte)	KEYOU (Aktuelle Werte)
CO <sub>2</sub> [g/kWh]	1.000	0,08	0,5
NO <sub>x</sub> [g/kWh]	0,46	0,046	0,12
PM* [g/kWh]	0,01	0,002	0,009
THC** [g/kWh]	0,16	0,01	0,05
CO [g/kWh]	4	0,01	0,01

↑ Gesetzl. Vorgaben ↓

\* Particulate Matter

\*\* Volatile organic substances such as hydrocarbons

EU Definition für **“ZERO EMISSION heavy duty vehicles”**:

**< 1 g CO<sub>2</sub> / kWh**

**Moderne & umgerüstete H<sub>2</sub> Fahrzeuge mit KEYOU-inside**

**= 0,5 g CO<sub>2</sub> / kWh**



### REGULATION (EU) 2019/1242 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, 20 June 2019

Zero-emission heavy-duty vehicle' means a heavy-duty vehicle without an internal combustion engine, or with an internal combustion engine that emits less than 1 g CO<sub>2</sub>/kWh as determined in accordance with Regulation (EC) No 595/2009 and its implementing measures, or which emits less than 1 g CO<sub>2</sub>/km as determined in accordance with Regulation (EC) No 715/2007



## WASSERSTOFF FÜR DEN SCHWERLASTVERKEHR

**Brennstoffzelle oder Wasserstoffmotor?**

**Wo liegen die Unterschiede?**





Brennstoff-  
zelle

## VORTEILE BEIDER TECHNOLOGIEN

Reichweite  
Betankungszeit

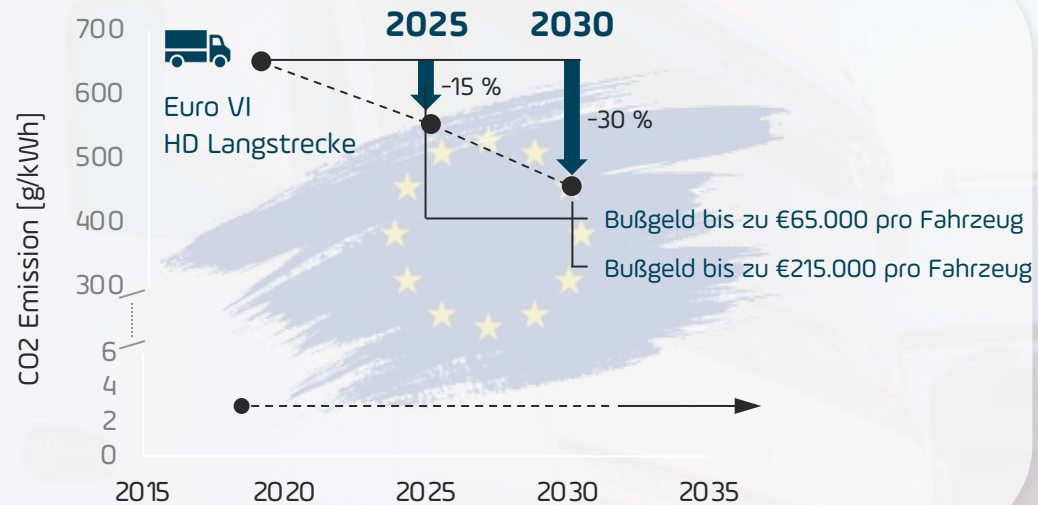


Wasserstoff-  
motor

Kosten (TCO)	–
Wasserstoff-Reinheit (99.999 %)	–
Hoher Kühlungsbedarf	–
Dauerhaltbarkeit	–
Kraftstoffeffizienz	+

+	Äquivalent zu Diesel
+	Wasserstoff-Reinheit (98 %)
+	Äquivalent zu Diesel
+	Robust
+	10% höherer Verbrauch

# 2 UMRÜSTUNG Geschäftsmodell



**80%** aller Nutzfahrzeuge in **2030** auf EU-Straßen werden nach wie vor **Dieselfahrzeuge** sein

**Second Life für Bestandsfahrzeuge mit Hilfe modernster Technologie notwendig, um CO<sub>2</sub>-Ziele zu erreichen.**



## DIESELFAHRZEUG

Standard



RETROFIT



Schnelle Integration  
Hohe Leistung  
Hohe Anwendbarkeit



2024

€ / km



NÄCHSTE GENERATION

2028

€ / km

Gleicher Kundennutzen

- Gesamtnutzen
- Fahrreichweite
- Lebensdauer
- Alltagstauglichkeit
- Kosteneffizienz



**DIESELMOTOR**

**DIESELTANK**



# Kosteneffiziente Umrüstung von Diesel auf Wasserstoff



H2 MOTOR

350 bar H2 TANK

# Kosteneffiziente Umrüstung von Diesel auf Wasserstoff



H2 MOTOR

H2 Batterie



## H2 Mobility as a Service (€/km)

Komplettlösung zu dieseläquivalenten Gesamtkosten –  
Modernste CO<sub>2</sub>-freie Technologie ohne Risiko



**UMRÜSTUNG**  
(Motor + Fahrzeug)



**WASSERSTOFF**

**SERVICE**



**VERSICHERUNG**  
(Versicherungspartner: HDI)



Vermietung von CO<sub>2</sub>-freiem H<sub>2</sub>-Fahrzeug inclusive Kraftstoff, Service & Wartung & Versicherung im Pay-per-use-Modell

# 3 PROTOTYPEN

## Neufahrzeuge



Weltpremiere IAA Transportation 2022:  
Präsentation zweier Prototypfahrzeuge mit Wasserstoffmotor

# 18-Tonnen-LKW Prototyp mit KEYOU-inside Wasserstoffmotor



## Fahrzeugspezifikation

Motor im 18-Tonnen-LKW	KEYOU H2-Technologie mit PFI
Zylinder	6
Hubraum	7,8 Liter
Aufladung	Turbo
Leistung	<b>210 kW</b>
Drehmoment	1.000 Nm
Verbrennungskonzept	Magerverbrennung (KEYOU Lean Burn)
Abgasnachbehandlung	Entfällt (Emissionen < EU VI)
Verbrauch	<b>ca. 7,5 kg H2 / 100 km</b>
Reichweite (Tank 350 bar)	Bis zu 600 km (abhängig von gewünschter Reichweite), aktuell ca. 350km bei 27kg Tank



- (Sub) Urbaner Anwendungsfall: Mittlere bis lange Reichweite
- Energiespeicher hinter der Fahrerkabine und/oder an den Seiten des Hauptrahmens
- 350 bar Wasserstoff-Speichersystem



# Flexibles Tanksystem – Je nach Bedarf bis zu 600 km Reichweite möglich



Weiterer Bauraum für höheres Tankvolumen (hier oben: 6 Flaschen = ca. 27 kg)



# TÜV erteilt Straßenzulassung / Einzelbetriebserlaubnis





# TÜV erteilt Straßenzulassung / Einzelbetriebserlaubnis



Film dazu auf LinkedIn: <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7051913033714929664>

# Ex-MAN Vorstand und Ex Rally Weltmeister testen KEYOU LKW



**Holger Mandel**

**Christian Geistdörfer**



**VR**plus

## Fahrbericht Keyou H2-Lkw: Fast wie ein Diesel



Der Actros ist ihm noch anzusehen – sein Antrieb aber nicht.  
Dieser Lkw fährt mit H2-Verbrenner

© Foto: Verkehrsrundschau/Fabian Faehrmann

Ein Verbrenner, aber umweltfreundlich: Die Verkehrsrundschau hat exklusiv eine erste Ausfahrt mit dem Wasserstoff-Lkw von Keyou absolviert.

Quelle: <https://www.verkehrsrundschau.de/nachrichten/transport-logistik/wasserstoff-lkw-von-keyou-ein-fahrbericht-3368322>

## Zitat aus dem Artikel:

„Es ist fast ein wenig enttäuschend, denn der Keyou-Actros fährt so, wie ein Lkw nun mal fährt. Um es kurz zu sagen: Es gibt fast keine Unterschiede zu einem Diesel. Der Lkw reagiert prompt beim Tritt aufs Gas – auch stärkere Beschleunigungen sind ohne Abstriche möglich. Bei 80 Kilometern pro Stunde dominieren die Windgeräusche und ein sanftes, etwas ruhigeres Brummen als man es von manchem Diesel gewohnt ist.“

# Erster Pionier unterschreibt auf Messe Transport Logistic



# 4 POLITIK

## Herausforderungen



## Politik fördert heute schon Projekte mit Wasserstoffmotor

KEYOU gefördert durch  
EU – European Innovation Council



Co-funded by the Horizon 2020 programme of the European Union

- ♦ **Projekt:** 09/2020 – 08/2022
- ♦ **Gesamtförderung:** 2,2 Mio. EUR
- ♦ **KEYOU-Förderung:** 2,2 Mio. EUR (gefördert: 1,6 Mio. EUR)
- ♦ **Beschreibung:** Entwicklung und Qualifizierung von Hardware- und Softwarekomponenten für einen H<sub>2</sub>-Motor, der in einem 18-t-Lkw Demonstrationsfahrzeug auf Basis eines Daimler Actros eingesetzt werden soll.

18t LKW



KEYOU gefördert durch  
Freistaat Bayern



Sponsored by

Bavarian Ministry of Economic Affairs,  
Regional Development and Energy

- ♦ **Projekt:** 09/2020 – 02/2023
- ♦ **Gesamtförderung:** 2,5 Mio. EUR
- ♦ **KEYOU-Förderung:** 2,1 Mio. EUR (gefördert: MEUR 1,1 Mio. EUR)
- ♦ **Beschreibung:** Umrüstung eines Stadtbusses (basierend auf Solaris Urbino) mit HICE-Antriebsstrang und H<sub>2</sub>-Speicher. Anwendung des H<sub>2</sub>-Motors auf einen Mild-Hybrid-Antriebsstrang mit Prüfung unter realen Bedingungen.

12m Stadtbus



KEYOU gefördert durch  
Deutsche Bundesregierung



Federal Ministry  
for Economic Affairs  
and Climate Action



WaVe

- ♦ **Projekt:** 01/2021 – 06/2024
- ♦ **Gesamtförderung:** 23,4 Mio. EUR (gefördert: 14 Mio. EUR)
- ♦ **KEYOU-Förderung:** 1,6 Mio. EUR (gefördert: 1,1 Mio. EUR)
- ♦ **Beschreibung:** Entwicklung eines H<sub>2</sub>-basierten Antriebssystem für Nutzfahrzeuge im mittleren Leistungsbereich und mit versch. Demonstratoren zu testen. Der HICE wird mit allen notwendigen Systemkomponenten ergänzt.

Unimog



KEYOU gefördert durch  
Deutsche Bundesregierung



Federal Ministry  
for Digital  
and Transport



- ♦ **Projekt:** 01/2022 – 01/2026
- ♦ **Gesamtförderung:** 20 Mio. EUR
- ♦ **KEYOU-Förderung:** 8,3 Mio. EUR (gefördert: 5,8 Mio. EUR)
- ♦ **Beschreibung:** Entwicklung eines 13l-H<sub>2</sub>-Motors für schwere Nutzfahrzeuge sowie Erprobung an zwei Demonstratoren (VOLVO). Erstmalsiger Einsatz eines neuartigen Wasserstoff-Verbrennungsmotors mit Direkteinspritzung.

40t LKW



Konsortium treibt die Nachhaltigkeit in der Transportlogistik durch H2-LKW weiter voran

## PROJEKT-STECKBRIEF

### HyCET Hydrogen Combustion Engine Trucks

BMDV Bundesministerium für Digitales & Verkehr

Investitionsvolumen 19,5 Mio. EURO

---

Gesamte Fördersumme 11,3 Mio. EURO

---

#### Konsortium

BMW (Konsortialführer), Volvo / KEYOU (40t LKW),  
DEUTZ (18t LKW), DHL, Total,



**DANIELA KLUCKERT**  
Parlamentarische Staatssekretärin BMDV



Durch das von uns geförderte Projekt HyCET wird eine Technologiebewertung des Wasserstoffverbrennungsmotors im schweren Güterverkehr vorgenommen. Die gewonnenen Ergebnisse im Praxisbetrieb tragen damit zum Technologiewettbewerb alternativer Antriebe in der Logistik bei.



## NOW-Studie zum Wasserstoffmotor mit klarer Aussage



### WASSERSTOFFVERBRENNUNGSMOTOR ALS ALTERNATIVER ANTRIEB (NOW)

Erst kürzlich veröffentlichte die NOW eine interessante Studie zum Wasserstoffmotor. Neben vielen lesenswerten Erkenntnissen, sticht vor allem das Fazit der Studie heraus:

“ *Zusammenfassend ist der Wasserstoffmotor eine funktionale und umsetzbare Antriebstechnologie. Damit hat er das Potenzial zum alternativen Antrieb.* ”



## Aktuell keine Förderung auf Endkundenseite (geplant) – Warum?

Es existieren zahlreiche Programme für die Förderung der Mobilitätswende im Nutzfahrzeugbereich. Neubeschaffung und Umrüstung wird dabei in vielen Fällen gleichgesetzt. Status Quo „Fahrzeuge mit H2 Motor“:



**Förderprogramme auf Bundesebene: Der H2-Motor spielt bei länderübergreifenden Programmen bislang keine Rolle und wird nicht explizit erwähnt.**



**Förderprogramme auf Länderebene: Der H2-Motor wird auch hier nicht erwähnt. Allerdings sind einige Programme technologieoffen formuliert und lassen Auslegungsspielraum.**



**Ergebnis insgesamt: Der H2-Motor ist nach wie vor kein elementarer Bestandteil in Förderprogrammen (0 Treffer in Förderdatenbanken vs. 32 Treffer „Brennstoffzelle“).**

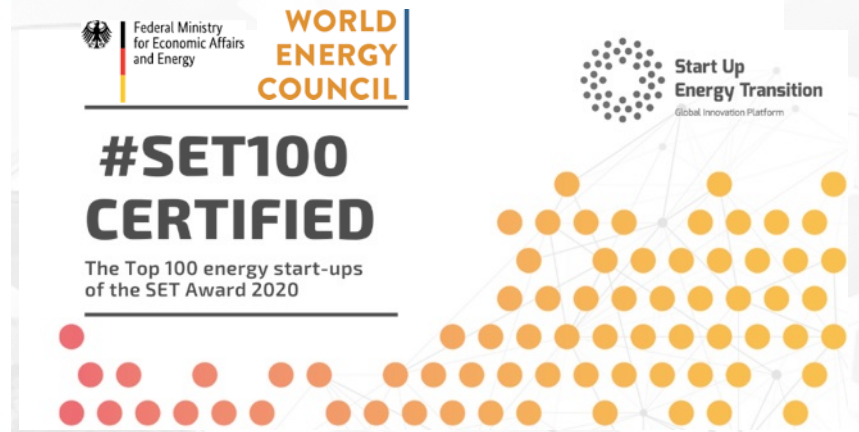
**Entscheidendes Kriterium der Förderprogramme ist der Beitrag zum Klimaschutz, den eine Technologie leistet. Dieser ist nachweislich auch beim H2-Motor gegeben. Deshalb besteht hier Handlungsbedarf!**



## Der Wasserstoffmotor für Neu- und Bestandsfahrzeuge als „Transformationsbeschleuniger“:

- Moderne Wasserstoffmotoren übertreffen Dieselmotoren hinsichtlich Wirkungsgrad
- Wasserstoffmotoren erfüllen die Zero Emission Anforderungen der EU-Gesetzgebung für Nutzfahrzeuge
- Fahrzeuge mit Wasserstoffmotoren emittieren keine für Menschen und Umwelt schädlichen Schadstoffe
- Wasserstoffmotoren können auf einer vorhandenen, ausgereiften Produktionsinfrastruktur, unabhängig von seltenen Erden und teuren Rohstoffen, kosteneffizient in Massen produziert werden
- Fahrzeuge mit Wasserstoffmotoren weisen den niedrigsten CO<sub>2</sub>-Footprint im Lebenszyklus auf
- Fahrzeuge mit Wasserstoffmotoren können bereits heute wettbewerbsfähig zu Dieselfahrzeugen sein

# DANK!



**KEYOU GmbH**  
Arnulfstraße 60  
D-80335 Munich  
Germany

Follow us:   