

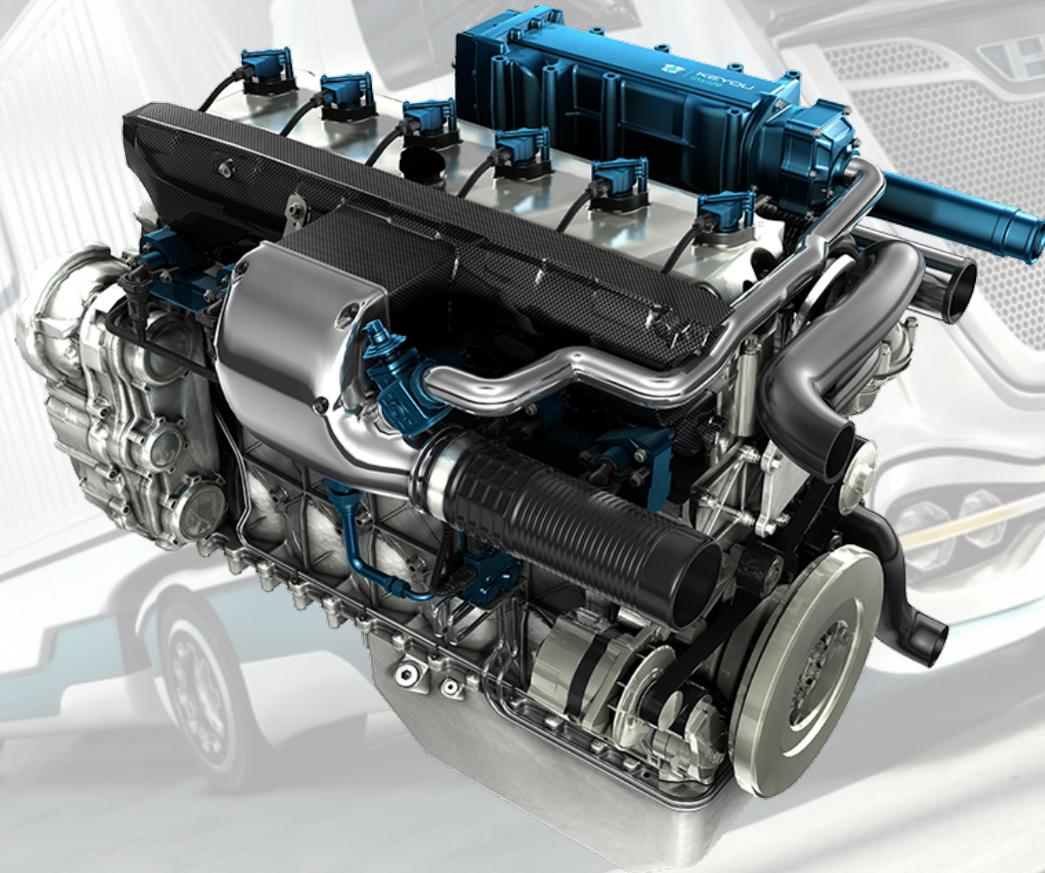


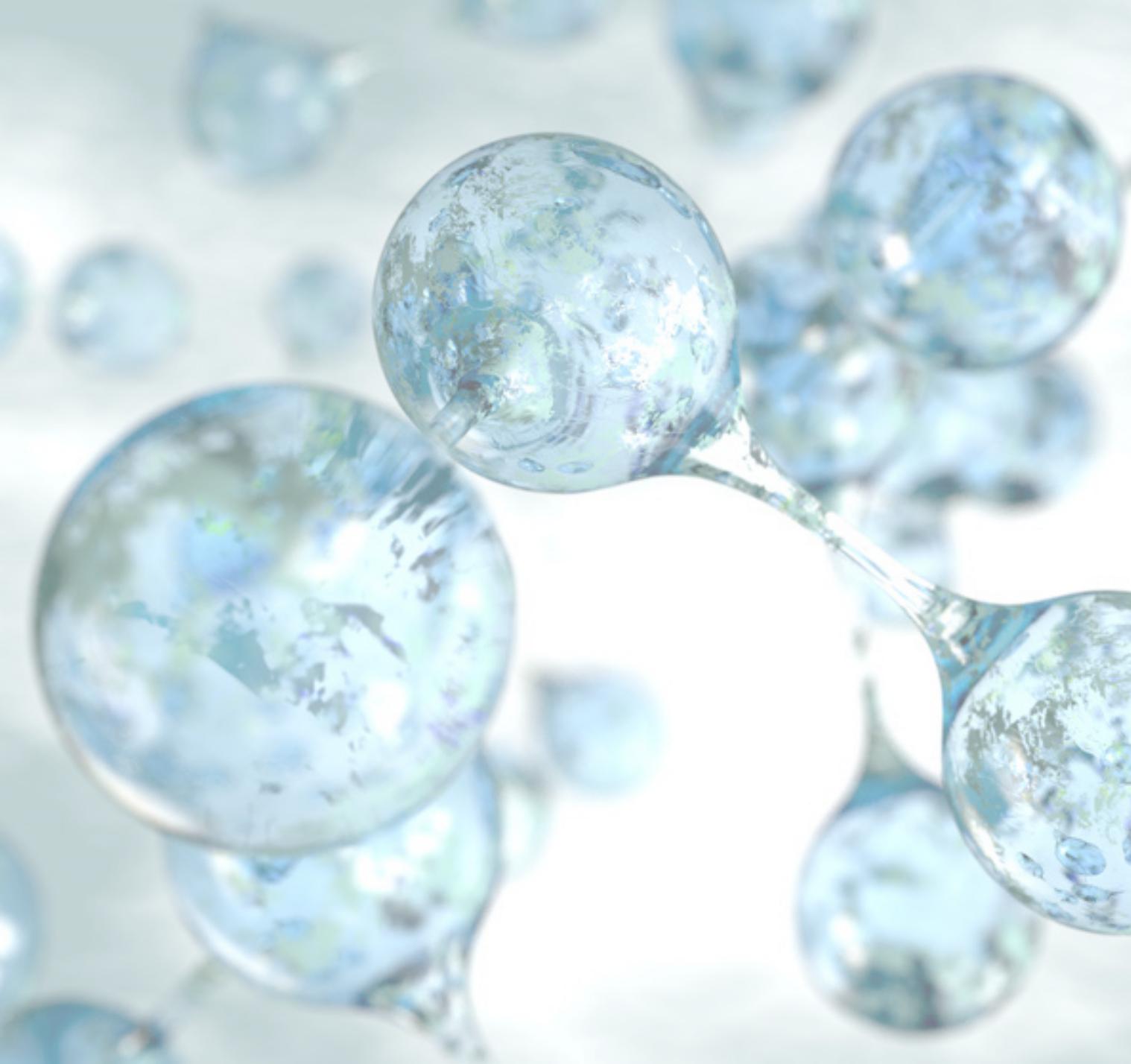
Co-funded by the Horizon 2020 programme  
of the European Union

KEYOU

Nachhaltig. Sauber. Kompromisslos.  
**Die neue Generation von Wasserstoffmotoren mit KEYOU-inside**

KEYOU Unternehmenspräsentation | 05 2021





**KEYOU**

**Wir stellen uns vor**

KEYOU hat das Potenzial des H<sub>2</sub>-Verbrennungsmotors frühzeitig erkannt

# Fokussiert auf den H<sub>2</sub>-Motor, Know-how in H<sub>2</sub>-Speicher & H<sub>2</sub>-Peripherie



- Schnell wachsendes Clean Mobility Start-up mit aktuell rund 40 Mitarbeiter -
- Zusammenarbeit und Kooperationen mit Instituten, Hochschulen und Ingenieursdienstleistern -
- 20 Jahre Teamerfahrung in der Entwicklung von Wasserstoffmotoren, Brennstoffzellen, H<sub>2</sub>-Speichern und Sicherheitssystemen -
- Erfolgreiche Entwicklung und Bau von Prototypen und Vorserienfahrzeugen in verschiedenen Unternehmen -



2000						2025
<b>BMW Hydrogen 7</b>	<b>MAN Lion's City H<sub>2</sub></b>	<b>Aston Martin Rapide S H<sub>2</sub></b>	<b>KEYOU</b>	<b>Proof of Concept</b>	<b>Erste Kunden</b>	<b>KEYOU inside</b>
<b>KEYOU Gründer: Weitreichende Wasserstoff-erfahrung und -expertise</b>						
<b>2000 – 2011:</b> Produktion von 100 Serienfahrzeugen Weltweite Demonstration der Kunden- anwendung	<b>2006 – 2014:</b> Produktion von 14 Fahrzeugen der Vorführflotte Service-Lines-Betrieb in Berlin	<b>2013:</b> Konstruktion eines Prototyps Zieleinlauf beim 24h-Rennen am Nürburgring	<b>2015:</b> Gründung von KEYOU	<b>2017:</b> Proof of Concept mit DEUTZ TCG 7.8 H <sub>2</sub>	<b>2018/19:</b> Mehrere Motoren und Fahrzeughersteller	<b>2022:</b> Erste (Prototyp-) Fahrzeuge mit KEYOU-inside

## MANAGEMENT



**JÜRGEN NADLER**  
C/MO

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



**THOMAS KORN**  
CEO, Co-Founder

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



**MARKUS SCHNEIDER**  
COO, Co-Founder

17 Jahre BMW Deutschland / USA / China  
4 Jahre Start-Up Erfahrung Alset



**ALVARO SOUSA**  
CTO, Co-Founder

8 Jahre BMW F&E Deutschland / USA  
Lehrbeauftragter Universität Porto



**PEDRO BRAVO**  
Head of Business Development  
15 Jahre Sales & Business  
Development



**Dr. THOMAS EBERT**  
Head of Engine Development  
6 Jahre Automotive  
(u.a. FEV)



**Dr. ZHIHE LI**  
VP China  
30 Jahre Industrienerfahrung  
(MTU, DEUTZ, MAN)



**CORNELIUS PREIL**  
Head of Sales & Market Development  
15 Jahre Vertriebs Erfahrung  
(DEUTZ)



**RALF SOERMANN**  
Head of Finance  
7 Jahre Bank / M&A, PE  
(e.g. P. Hartmann AG, Charleston Holding)



**PIERRE STEFFEN**  
Komponentenbusiness  
30 Jahre Industrienerfahrung  
(e.g. Airbus, Siemens)

## Beirat



**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)

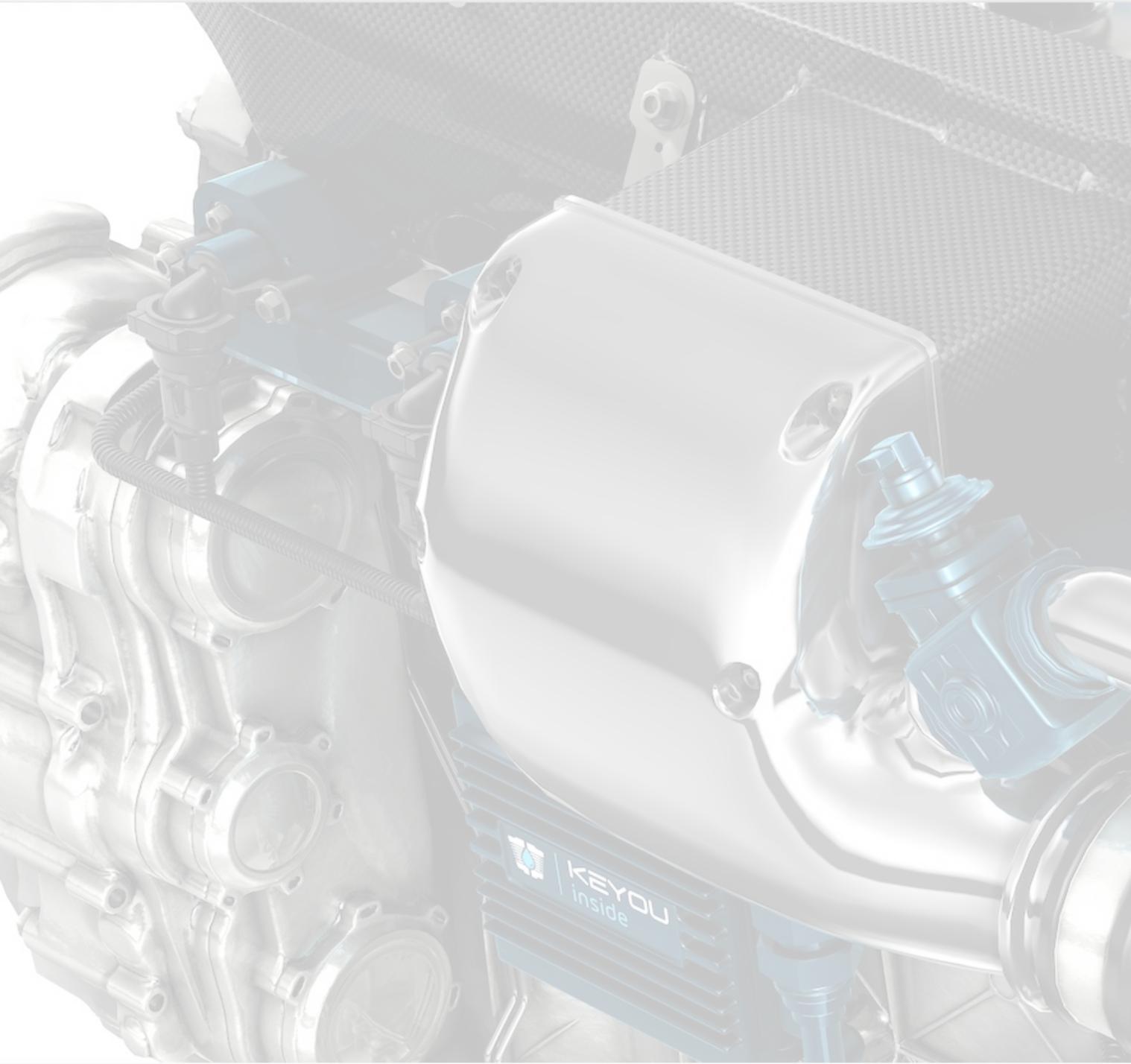
# KEYOU – What we do

- Entwicklungsdienstleistungen rund um Wasserstoffverbrennungsmotoren sowie Entwicklung von spezifischen H<sub>2</sub>-Komponenten - Motor- und Fahrzeughersteller wird so ein schneller Weg zu emissionsfreien Fahrzeugen in der Serienproduktion ermöglicht
- Hohe Skalierbarkeit der Technologien erlaubt mobile, stationäre (Stromaggregat/KWK) oder maritime Anwendungen, Technologie auch im Bahnbereich einsetzbar
- Innerstädtische Busse & Verteiler-Lkw als erste Anwendungen



KEYOU  
inside





## VERBRENNUNGSMOTOREN

Die neue Generation mit Wasserstoff

Der Wasserstoffmotor ist tot - es lebe der Wasserstoffmotor  
**Warum Wasserstoffmotor?**

**„Das hat doch bei BMW und MAN nicht geklappt,  
warum sollte es heute klappen?“**



## 2000er Jahre



Der Klimawandel war – weder in der Politik noch in der Gesellschaft selbst – ein „Prio- 1-Thema“, trotz mehrerer Naturkatastrophen und zunehmender Luftverschmutzung in den Innenstädten

Zero-Emission Fahrzeuge?

Kein

politischer und gesellschaftlicher Druck

## ab ca. 2016



CO<sub>2</sub>-Reduktion

## Klimawandel

Forderung nach sauberen Innenstädten

## Fridays for Future

Demonstrationen

Zero-Emission Fahrzeuge?

Großer

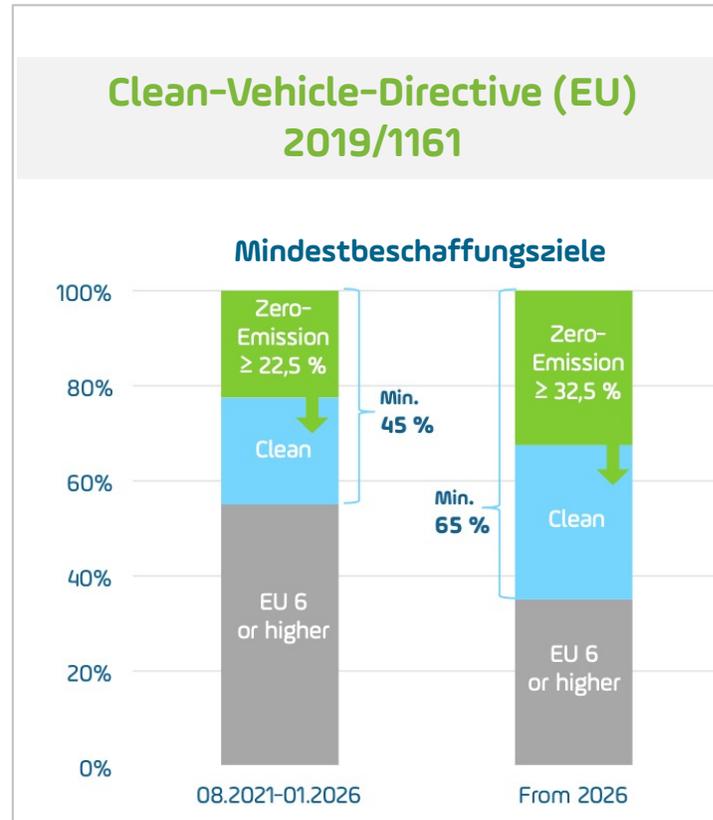
politischer und gesellschaftlicher Druck

### EU-Verordnung 2019/1242: Neue CO<sub>2</sub>-Ziele für Nutzfahrzeuge

Gesetzliche Bestimmungen zur Reduzierung der durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Flotten des Herstellers:

CO<sub>2</sub>-Ziele EU:

- ▶ - 15 % CO<sub>2</sub> bis 2025
- ▶ - 30 % CO<sub>2</sub> bis 2030



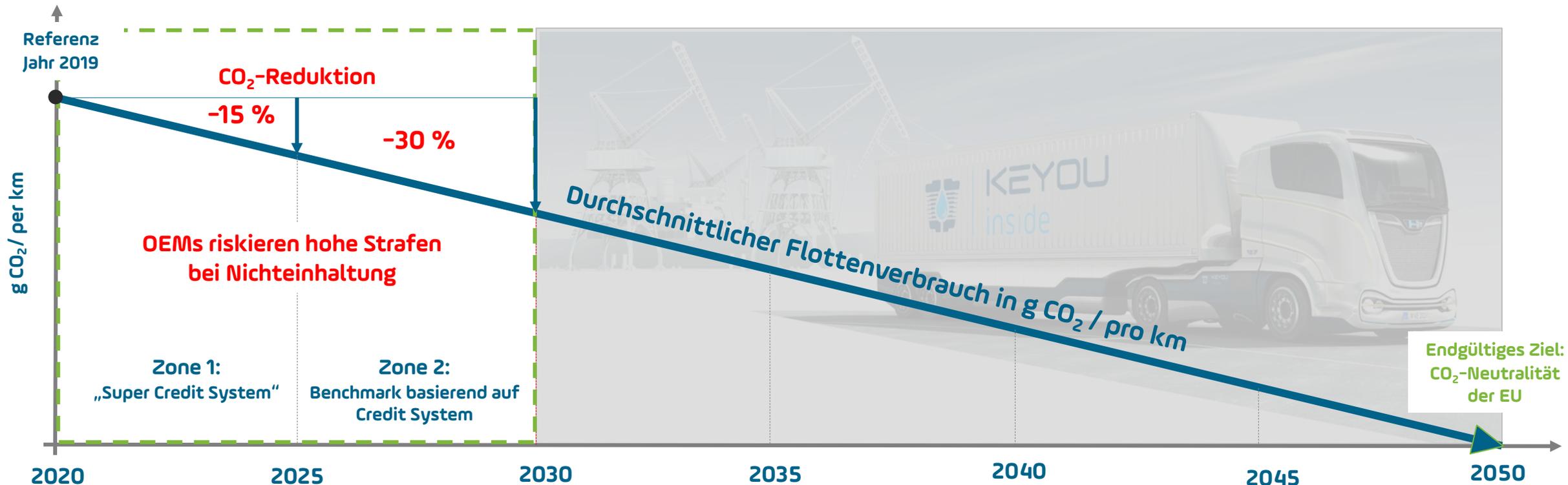
### CO<sub>2</sub>-Ziele in anderen wichtigen Automobilmärkten und -regionen

CO<sub>2</sub>-Ziele - Average:

- ▶ Pro Jahr: - 1,5 % bis -2 % CO<sub>2</sub>
- ▶ 2030: - 10 % bis -25 % CO<sub>2</sub>

Seit 2019: Wasserstoffverbrennungsmotor laut EU-Norm als „Zero Emission“ definiert

# Klare Vorgaben der EU hin zum CO<sub>2</sub>-freien Schwerlastverkehr



Motor- und Fahrzeughersteller müssen heute mit der Entwicklung „Zero Emission“ Technologien beginnen, um die Ziele von morgen zu erreichen

# Technologische Gründe: Echtes Wasserstoff-Konzept statt „adaptiertes Benzinbrennverfahren“ Innovationssprung mit KEYOU-inside



## Patentiertes Brennverfahren in einem neuen H<sub>2</sub>-Motorenkonzept

- Weltweit erster aufgeladener H<sub>2</sub>-Motor mit Abgasrückführung und H<sub>2</sub>-SCR
- Hoher Wirkungsgradzuwachs
- Geringer Verbrauch
- Hohe spez. Leistung
- Geringer Umbauaufwand am Basismotor

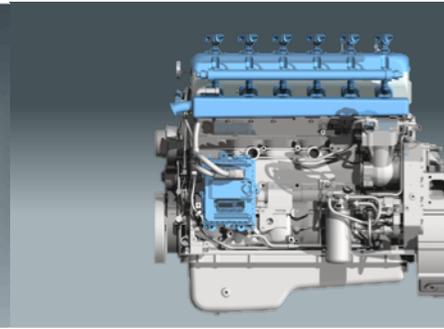
## Vorherige H<sub>2</sub>-Konzepte 2006 (BMW, MAN):

- Niedriger Wirkungsgrad
- Hoher Verbrauch
- Niedrige spez. Leistung
- Hoher Umbauaufwand am Basismotor



Eine neue Generation von H<sub>2</sub>-Verbrennungsmotoren





KEYOU Zero 1 mit PFI



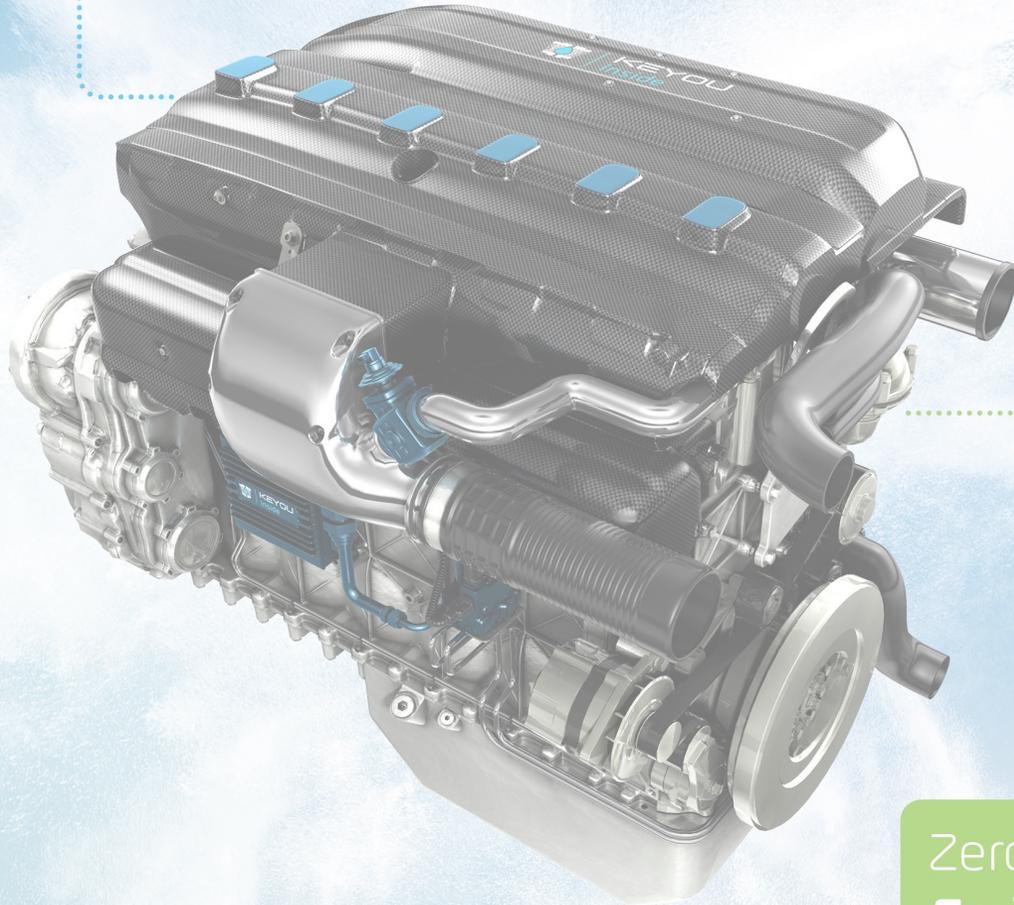
KEYOU Zero 2 mit DI

	MAN H2876 UH01 (2006)	KEYOU H <sub>2</sub> -Technologie mit PFI	KEYOU H <sub>2</sub> -Technologie mit DI
Zylinder	6	6	6
Hubraum	12,8 Liter	7,8 Liter	7,8 Liter
Aufladung	selbstansaugend	Turbo aufgeladen	Turbo aufgeladen
Leistung	<b>150 kW</b>	<b>210 kW</b>	<b>240 kW</b>
Drehmoment	760 Nm	1.000 Nm	1.100 Nm
Verbrennungskonzept	stöchiometrisch	mager	mager
NOx Kontrolle	3-Wege-Katalysator	AGR + H <sub>2</sub> SCR	AGR + H <sub>2</sub> SCR
Verbrauch	<b>ca. 22 kg H<sub>2</sub> / 100 km</b>	<b>ca. 11 kg H<sub>2</sub> / 100 km</b>	<b>ca. 10 kg H<sub>2</sub> / 100 km</b>

Doppelte spez. Leistung (im Hinblick auf Motorgröße)

Halbierung des Verbrauchs

Maximum  
Performance.



Zero  
Emission.

**HERAUSFORDERUNG**

**Maximum Performance & Zero Emission**

Was bietet KEYOU seinen Kunden?

# Mit KEYOU-inside zum hocheffizienten emissionsfreien H<sub>2</sub>-Motor



LEISTUNGEN

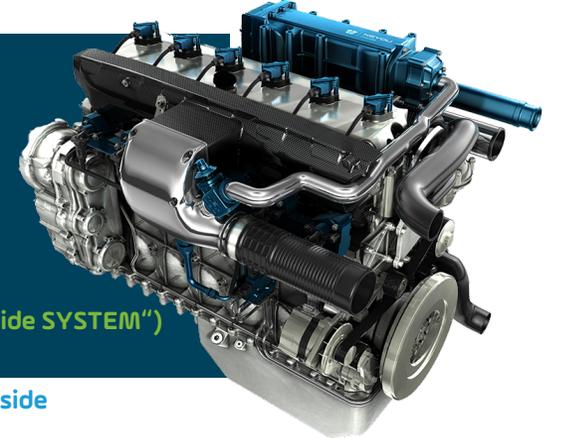
- (1) H<sub>2</sub>-BRENNVERFAHRENTWICKLUNG
- (2) MOTOR-BETRIEBSSTRATEGIE
- (3) H<sub>2</sub>-SYSTEM (H<sub>2</sub>-HW- / SW-KOMPONENTEN)

PRODUKTE

Entwicklungsdienstleistungen



H<sub>2</sub>-Komponenten („KEYOU-inside SYSTEM“)



Von einem konventionellen Gas- oder Dieselmotor zu einem Zero Emission Wasserstoffmotor mit KEYOU-inside

alle Motorgrößen

On-Road & Off-Road

validierte  
Technologie

schnelle  
Integration

Basismotor wenig  
verändert

Spezifisches Know-how über Zusammenspiel von Motorentechologie und H<sub>2</sub>-Komponenten werden zum Alleinstellungsmerkmal von KEYOU

Wasserstoff in Verbrennungsmotoren erfordert ein perfekt abgestimmtes Gesamtsystem

# Maximale Performance durch max. Zusammenspiel aller H<sub>2</sub>-Komponenten

## ZÜNDSYSTEM

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

## SYSTEM ZUR H<sub>2</sub>-DRUCKREGELUNG

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

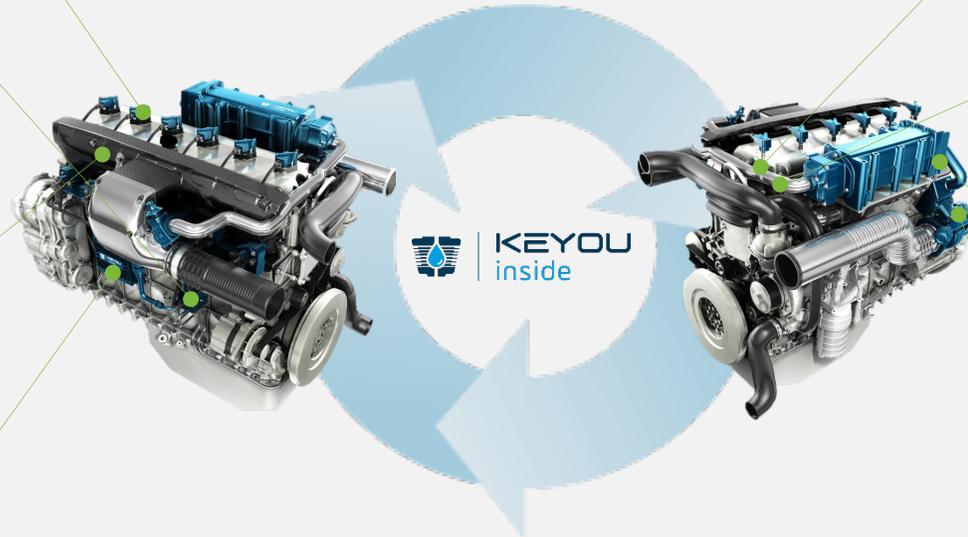
## EINBLASESYSTEM

Rail & Injektoren: Optimierter H<sub>2</sub>-Einspritzvorgang mit bestmöglicher Gemisch-Homogenisierung im gesamten Kennfeld.

## ECU MIT INTEGRIERTER H<sub>2</sub>-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 Gemischhomogenisierung, Vermeidung von Verbrennungsanomalien

## SYSTEM ZUR ABGASRÜCKFÜHRUNG

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

## AUFLADESYSTEM

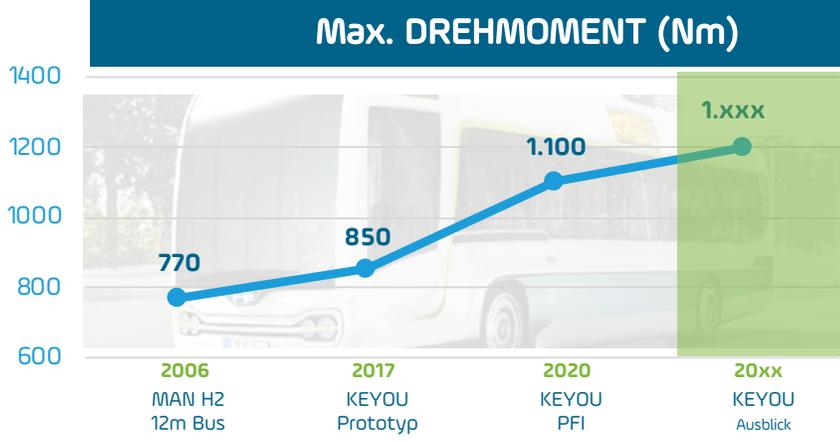
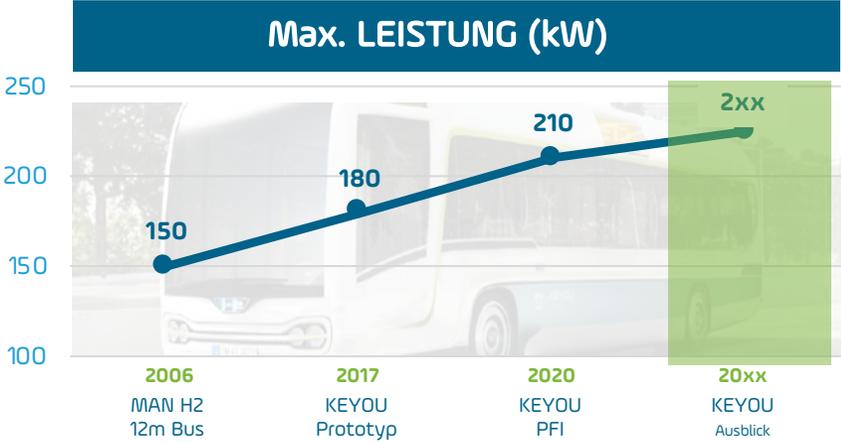
Turbolader: spezifische Auslegung infolge geringer Abgasenthalpie für hohe Aufladegrade und hohes Low-end Torque.

## + ABGASNACHBEHANDLUNG

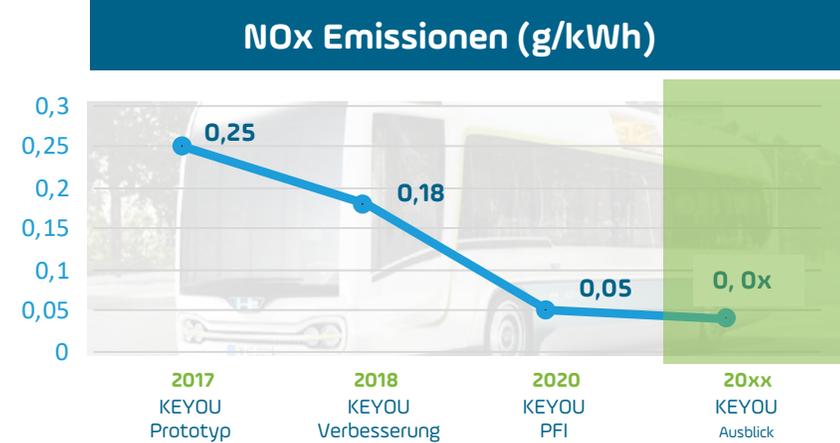
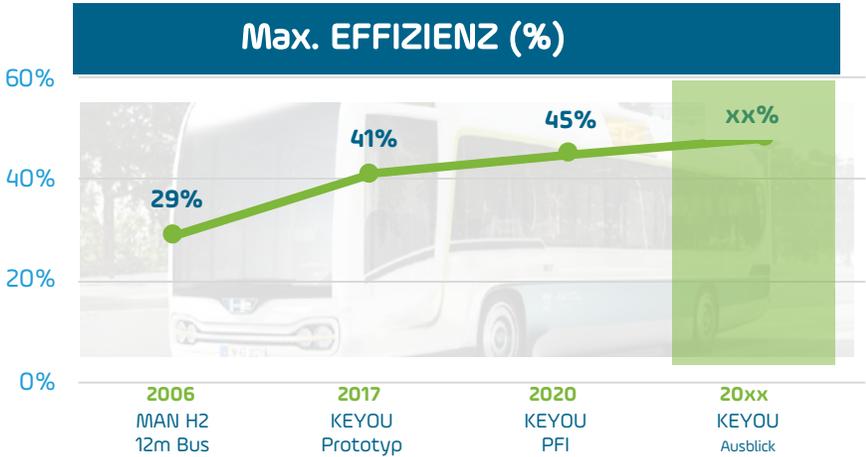


Vorteil **OEM**: KEYOU hat bereits heute das **Know-how** & die **Expertise**, welche Komponenten wie **am besten** als **Gesamtsystem** wirken (= KEYOU-inside)

# Kontinuierliche Verbesserung der wichtigsten KPIs



Beispiel 12m Bus:  
DEUTZ TCG 7.8 H2 mit  
KEYOU-inside





**VERGLEICH**

**Alternative Antriebssysteme**

## Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)



## Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV)



## Fahrzeuge mit H<sub>2</sub>-Motor



“Emissionsfreies Schwerlastfahrzeug“ (= Zero-Emission Fahrzeug) ein Schwerlastfahrzeug ohne Verbrennungsmotor oder mit einem Verbrennungsmotor, das weniger als 1 g CO<sub>2</sub>/kWh gemäß der Verordnung (EG) Nr. 595/2009 und ihrer Durchführungsmaßnahmen oder weniger als 1 g CO<sub>2</sub>/km ausstößt“ (Richtlinie (EU) 2019/1161) Artikel 4 (§5)

Fahrzeuge mit Wasserstoffmotoren rücken verstärkt in den Fokus der OEMs als attraktive Alternative im Zero-Emission Antriebsmix

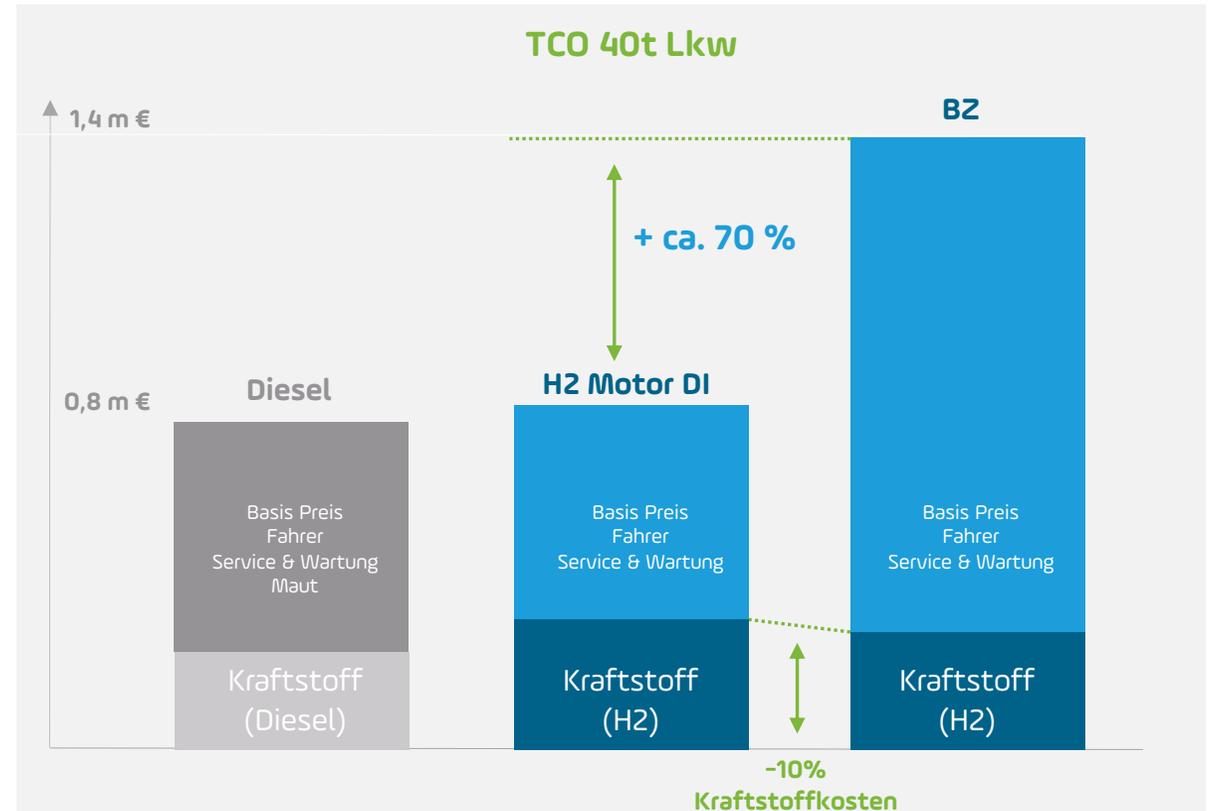
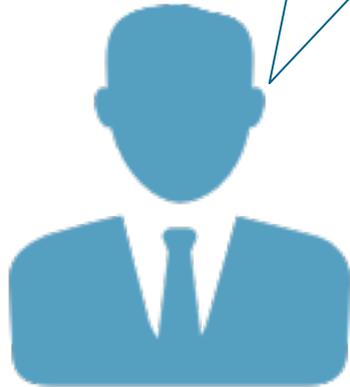
# Effizienzvorteil der Brennstoffzelle gegenüber dem Wasserstoffmotor - ein wirklich "großer" Vorteil?

## Potentieller Verbrauchsvorteil durch Technologiekosten überkompensiert

"Die Kraftstoffeinsparung von Brennstoffzellenfahrzeugen im Vergleich zu Fahrzeugen mit H<sub>2</sub>-Motoren kann bei ca. 10 % liegen"



Und was bedeutet das für den TCO?



Trotz eines geringeren Verbrauchs von 10 % kostet ein Brennstoffzellenfahrzeug über Lebensdauer heute rund 140 % mehr als ein Fahrzeug mit einem H<sub>2</sub> Motor

Welche Antriebstechnik erfüllt alle Anforderungen?

# Zielkonflikt von Profitabilität, Kundennutzen & Klimaschutz

Die drei Dimensionen des Zielkonfliktes:



Eine erfolgreiche „Zero Emission“ Technologie muss profitabel für den OEM sein und zugleich dem Endkunden den höchsten Gesamtnutzen bieten



**STATUS QUO & AUSBLICK**

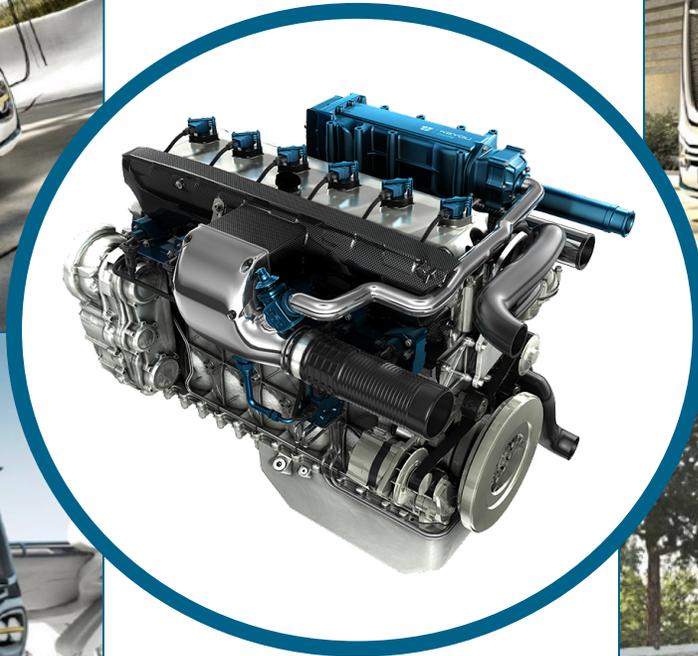
**KEYOU Projektübersicht**

	Motor Entwicklung	OEM Kunde	Ziel-Reifegrad	Status
	<p><b>TCG 7.8 H<sub>2</sub> PFI</b></p>	<p><b>DEUTZ</b></p>	<p>Vorserie - Zulassung für den Betrieb verschiedener Pilotfahrzeuge</p>	<p>✓ <b>Entwicklung läuft</b></p>
	<p><b>13,5 L PFI</b></p>	<p><b>Europäischer Hersteller</b></p>	<p>Proof of Concept</p>	<p>✓ <b>Abgeschlossen</b></p>
	<p><b>15 L PFI</b></p>	<p><b>Europäischer Hersteller</b></p>	<p>Konzeptvalidierung auf dem Motorprüfstand</p>	<p>✓ <b>Entwicklung läuft</b></p>
	<p><b>13 L DI</b></p>	<p><b>In Verhandlungen</b></p>	<p>Konzeptvalidierung auf dem Motorprüfstand</p>	<p>✓ <b>In Vorbereitung</b></p>

# Kommende Prototypen – Pilotprojekte / Förderprojekte sind definiert Bereits heute große Endkundennachfrage

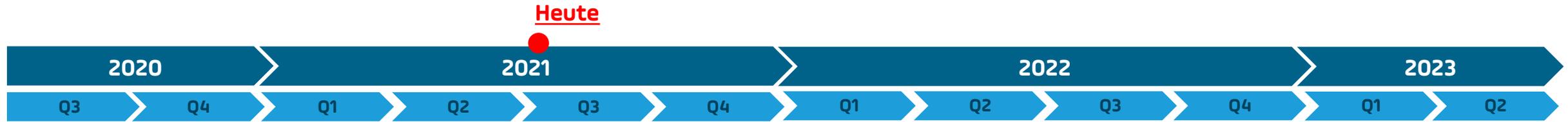


- definierte Projekte -



- Illustrationen -

# Projektpartner und Zusammenarbeit auf einen Blick



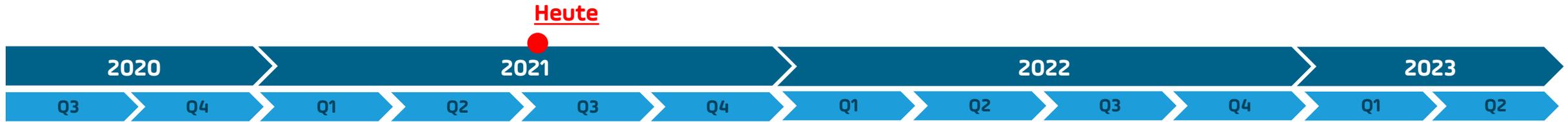
## Projektpartner



## Kooperationspartner



# Akademische Begleitung



Akademische Begleitung durch:

**Institute for Engineering Design Mechatronic Systems, Produktentwicklung und PLM/CAD**

Ökologischer und ökonomischer Vergleich konventioneller und alternativer Antriebsformen für Stadtbusse

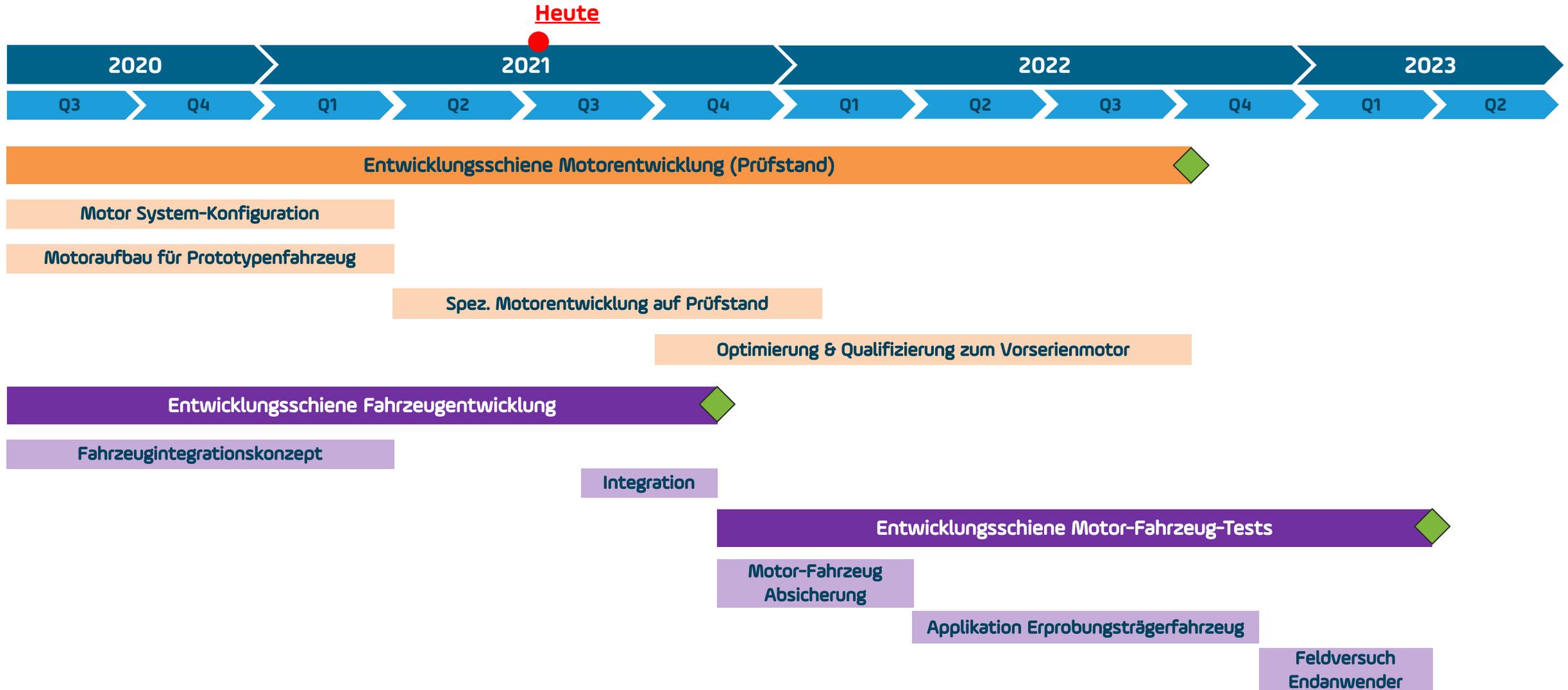


Gefördert durch



**Bayerisches Staatsministerium für  
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie**

# Zeitschiene



# Förderprojekt 12m mild-hybrid H<sub>2</sub>ICE Stadtbus H<sub>2</sub>-Komponentenabstimmung



- H<sub>2</sub> Zündsystem
- System zur H<sub>2</sub>-Druckregelung
- H<sub>2</sub> Einblasesystem
- ECU mit integrierter H<sub>2</sub>-SW
- H<sub>2</sub> Ventilsystem
- H<sub>2</sub> Kolbensystem
- H<sub>2</sub> System zur AGR
- H<sub>2</sub> Aufladesystem
- H<sub>2</sub> Abgasnachbehandlung



H<sub>2</sub> Tank- und Speichertechnologie



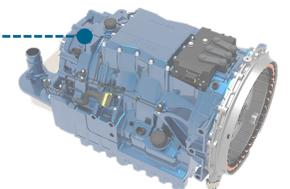
H<sub>2</sub> Druckregler



H<sub>2</sub> Motor mit KEYOU-inside



Beispiel H<sub>2</sub>-Bus



Mild-hybrid



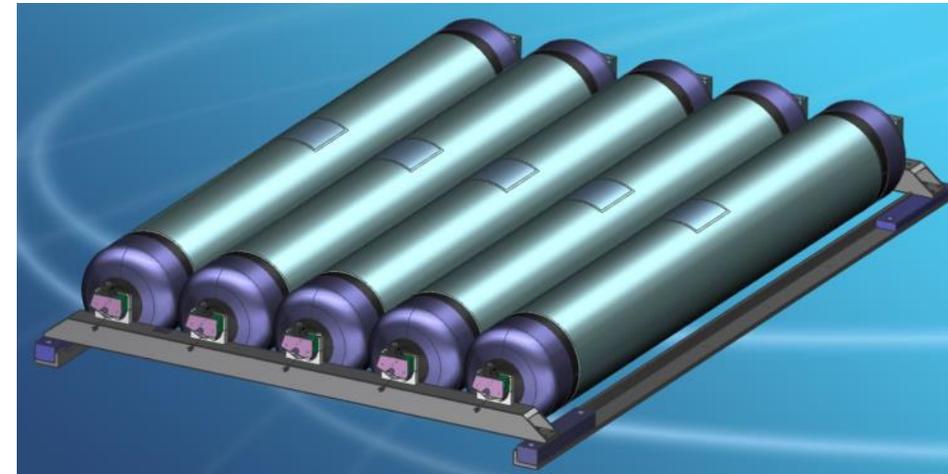
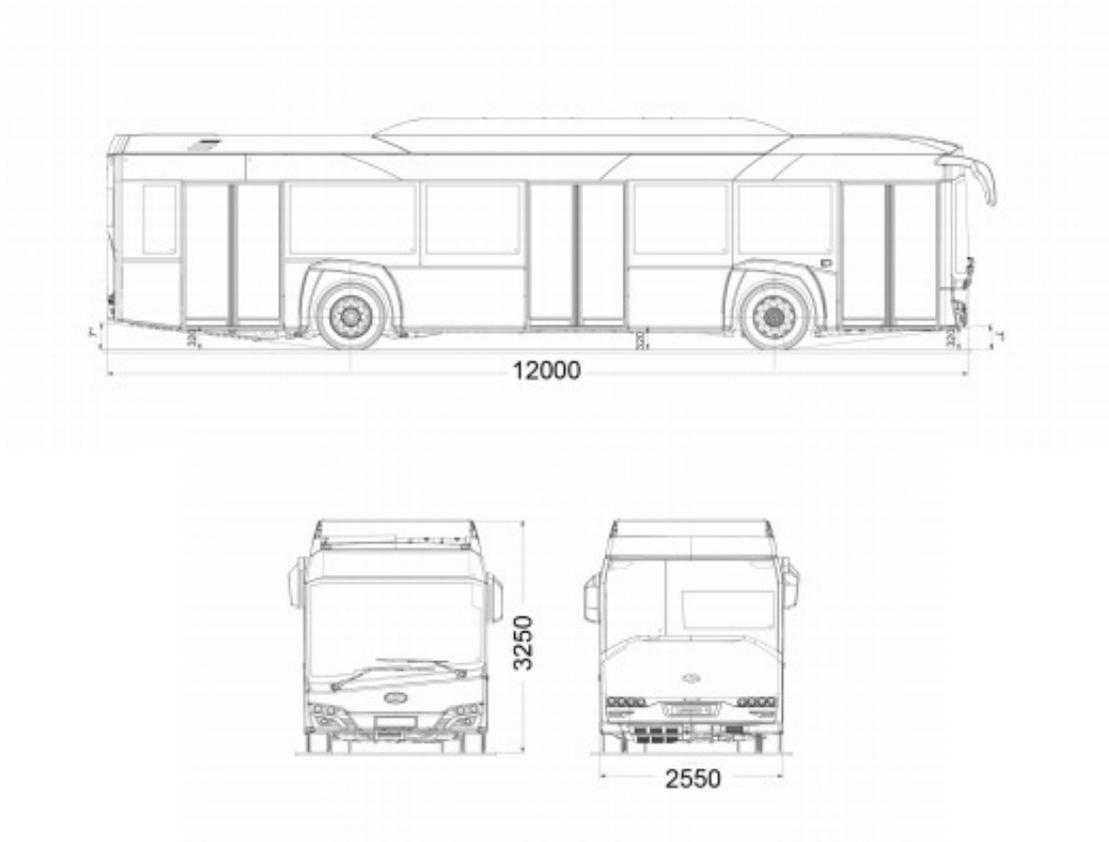
Software

# Eckdaten Solaris H<sub>2</sub>-ICE Bus mit KEYOU-inside

Fahrzeug	Solaris Urbino 12 CNG	Solaris Urbino 12 H <sub>2</sub> ICE
Motor	Cummins L9NE6DII320	DEUTZ TCG 7.8 H2 KEYOU-inside
Getriebe/Hybridsystem	Voith DIWA 6	Voith DIWA NXT
Fahrgastzahl	90 (31 Sitzplätze)	90 (31 Sitzplätze)
Leistung Motor	235 kW	210 kW
Drehmoment Motor	–	1000 Nm
Leistung Elektrisch	–	11 kW
Drehmoment Elektrisch	–	200 Nm
Kraftstoffspeicher	Gastank 4 x 315 l	37,5 kg H <sub>2</sub> @ 350 bar
Reichweite	400-450 km	> 400 km
Verbrauch	50-60 m <sup>2</sup>	≈ 8,5 kg H <sub>2</sub> /100 km
Abgasemissionen	EURO VI - D	EU 6 / Zero-Emission Fahrzeug*

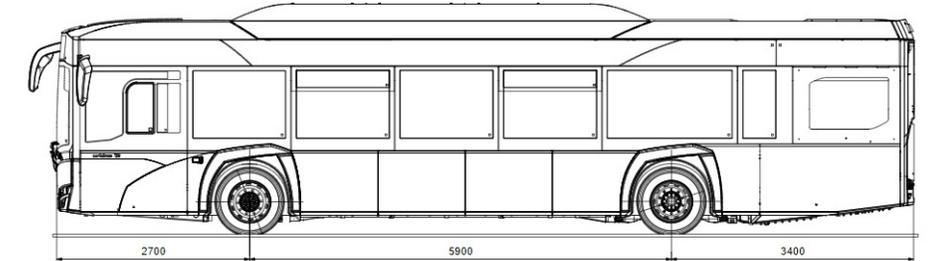
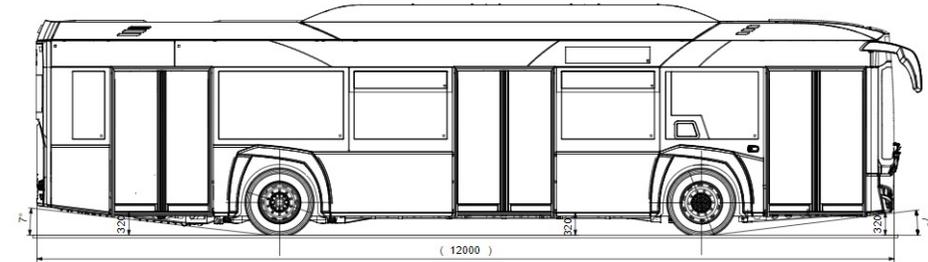
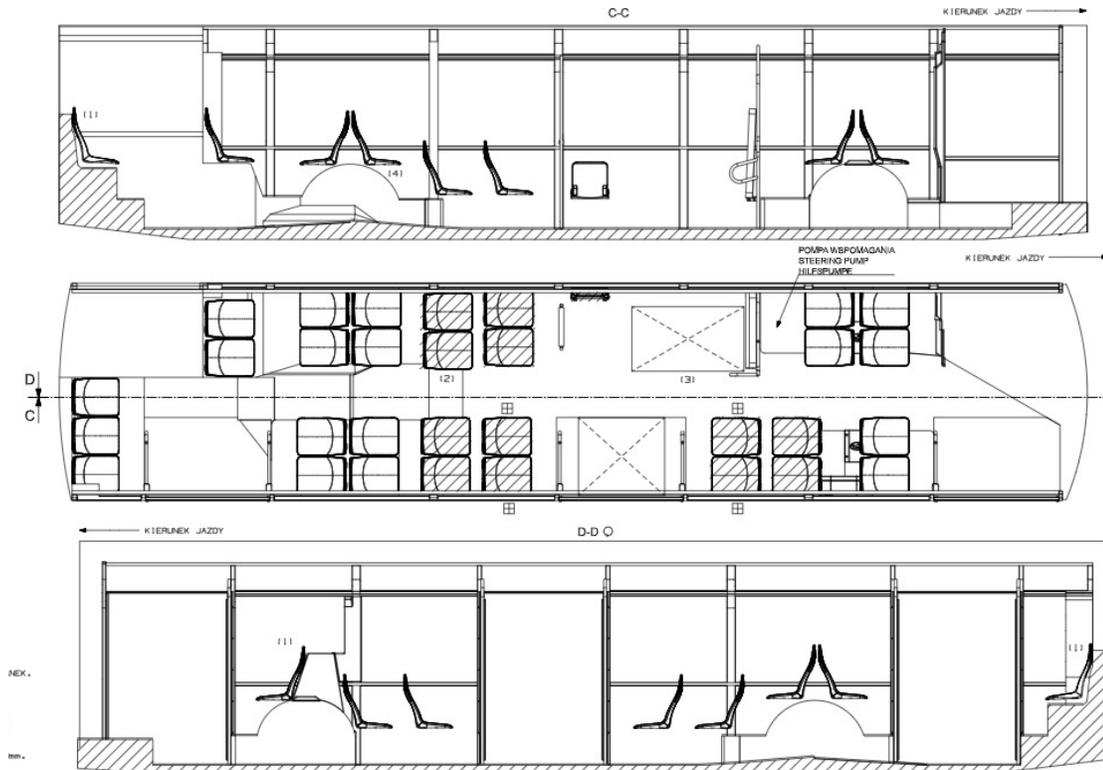
\*Lt. EU-Richtlinie 2019/1161

# Abmessungen Solaris H<sub>2</sub>-ICE Bus mit KEYOU-inside



CAD-Modell des Wasserstoffspeichers; Quelle: Hexagon Purus

# Abmaße Solaris H<sub>2</sub>-ICE Bus mit KEYOU-inside



UWAGA:  
 - ROZKŁAD ZEWNĘTRZNY NIE UWZGLĘDNIŁAM ZABUDOWY ELEMENTÓW DODATKOWYCH BIEDAŁYCH ROZMIARZEM NIESTANDARDOWYM  
 - ROZKŁAD ZEWNĘTRZNY PRZYGOTOWANY DLA CELOW OFERTOWYCH

Model	122	Wersja	122	Wersja konfiguracji	122
Wersja	122	Wersja	122	Wersja	122
Z-H12 CNG E6 CUMMINS (2-2-2)					
990900-0004-654-530-AC					

## Ziele des Projekts



- **Ausstattung** des Nutzfahrzeugs mit einem Wasserstoffverbrennungsmotor
- **Nachweis Zero Emission Technologie** (inkl. Qualifizierung des Motors und Abgasanlage als entsprechende Technologie)
- **Max. Wirkungsgrad:** > 43 % (Bestpunkt)
- **Leistungsdichte:** 25 – 27 kW / Liter
- **Spezifischer Kraftstoffverbrauch des Motors:** < 73 g H<sub>2</sub>/kWh (im Bestpunkt)
- **Errechneter Fahrzeugverbrauch** mit KEYOU-Inside Technologie und Hybridisierung
  - ca. 8,4 kg H<sub>2</sub>/100 km
  - 10,0 kg H<sub>2</sub>/100 km ohne Hybridmodul

# Ziele des Projekts: Emissionsziele ohne Abgasnachbehandlung

Emissionen	DEUTZ TCD 7.8 L Bus Diesel –Motor Euro VI	H <sub>2</sub> -Motor Bus mit KEYOU-inside
CO <sub>2</sub> [g/kWh]	1.000	< 1
NO <sub>x</sub> [g/kWh]	0,46	< 0,2
PM* [g/kWh]	0,01	< 0,01
HC** [g/kWh]	0,16	< 0,05
CO [g/kWh]	4	< 0,1

Gesetzliche Grenzwerte

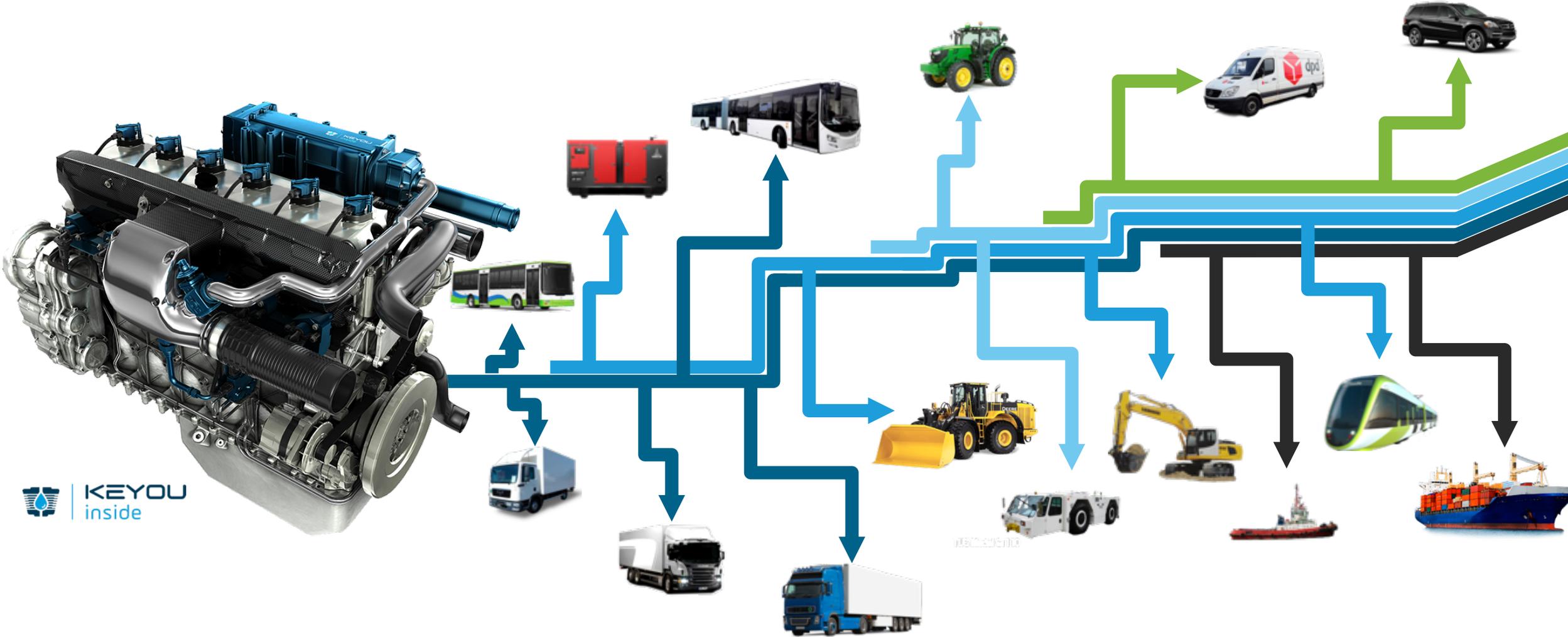
EU Definition von  
ZERO EMISSION:  
< 1 g CO<sub>2</sub>/kWh



\* Particulate Matter, Bezeichnung / Einheit / Standard für Feinstaub

\*\* flüchtige, organische Substanzen wie Kohlenwasserstoffe

# Die KEYOU-Plattform: zukünftige Anwendungsfälle



„The hydrogen  
engine is on its  
way!“

**Tom Korn**

CEO & Co-Founder





**Green Product Award**

Winner 2017



**NEXT ECONOMY AWARD**

**TOP 3**  
Technology 2018



**GERMAN INNOVATION AWARD '18 WINNER**



Wasserstoffbus

KEYOU

KEYOU-inside Wasserstoffmotor

busplaner

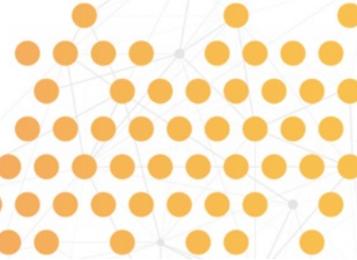
hussverlag



**WORLD ENERGY COUNCIL**

**#SET100 CERTIFIED**

The Top 100 energy start-ups of the SET Award 2020



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



**KEYOU GmbH**  
Gutenbergstraße 3  
D-85716 Unterschleißheim  
Munich / Germany

Follow us:

