

NUTZUNG VON WASSERSTOFF IN GASMOTOREN

Martin Schneider

JENBACHER



ready for
HYDROGEN

grüingas24 Kongress

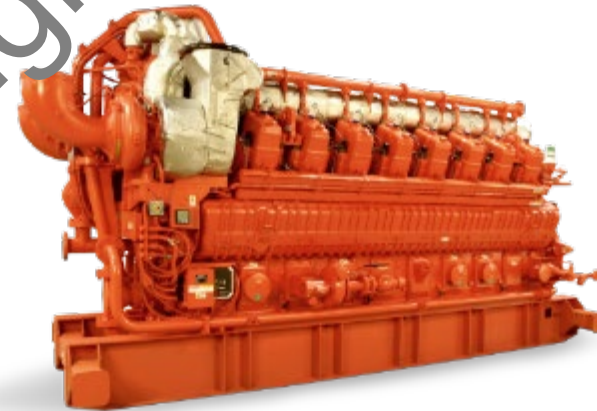
Jenbacher



Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW)

Elektrische Leistung: 250 kW – 10.6 MW,
elektrischer Wirkungsgrad bis zu 49,9%, Gesamtwirkungsgrad > 95%
26.000+ gelieferte Motoren, 27.000 MW Leistung weltweit
Erdgas, KWK, Exzellenz bei Spezialgasanwendungen (Biogas,
Deponiegas, Grubengas, Hochofengas), Ölfeld-Anwendungen

Waukesha



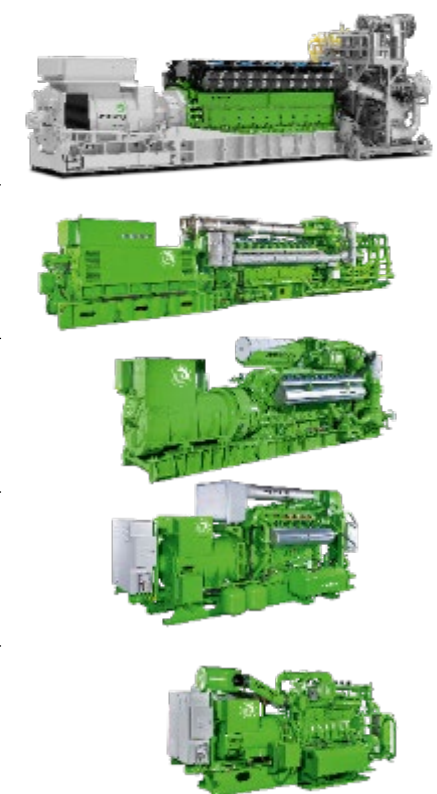
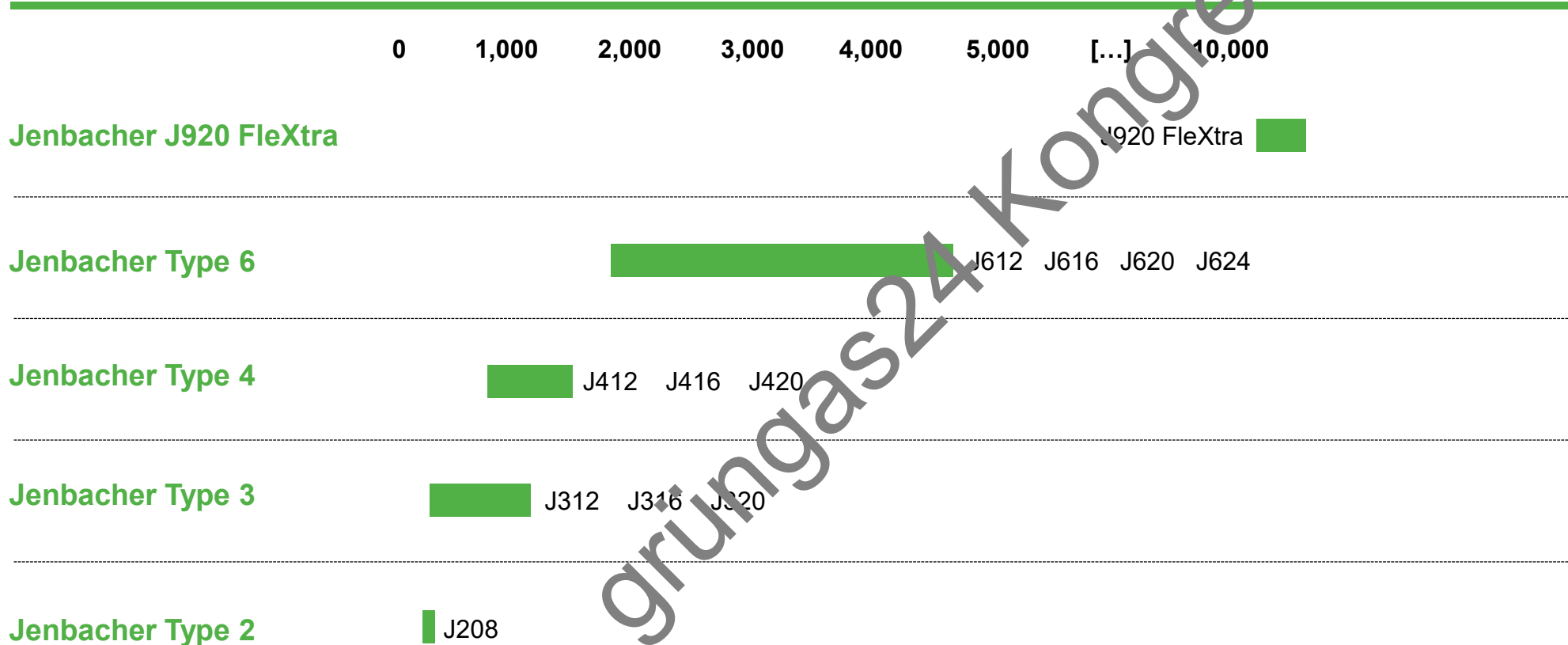
Gasverdichtung / O&G Power gen

Leistung: 335 bhp – 5.000 bhp (220 kW – 3.605 kW)
28.000+ gelieferte Gasverdichtungsmotoren, über
49 Millionen bhp Leistung weltweit (37.000 MW)
Gasförderung, -aufbereitung, -lagerung/transport

ENERGIEERZEUGUNG – KRAFTSTOFFFLEXIBILITÄT, LANGE LEBENSDAUER, HERVORRAGENDE LANGLEBIGKEIT UND ZUVERLÄSSIGKEIT

Jenbacher Motoren

Elektrische Leistung (kWe) (Pipeline Gas)



INNIO IST MIT SEINER JENBACHER PRODUKTLINE EIN FÜHRENDER ANBIETER VON ENERGIEERZEUGUNGSLÖSUNGEN

Unsere Lösungen liefern weltweit Strom und Wärme für vielseitige Anwendungen

PLUS: 100% Wasserstoff



- Wasserstoff ist ein erneuerbarer Energieträger der fossile Energie ersetzen kann
- Speicherung und Nutzung von Wasserstoff unterstützt die Energiewende
- Überschüsse aus Windenergie und Solarkraft können via Wasserstoffherzeugung zwischengespeichert werden
- Nutzung im Verbrennungsmotor ist klimaneutral & schadstofffrei

Wann und wo sie benötigt wird



Gewerbliche Kunden



Rechenzentren && Notstromversorgung



Stromversorger, Kommunen und unabhängige Stromerzeuger



Gewächshäuser



Microgrids



Biogas



Deponiegas*



Klärgas



Grubengas



Erdölbegleitgas



Sondergase

READY FOR HYDROGEN – WAS HEISST DAS?

INNIO Definition



Bereits heute sind alle neuen Jenbacher-Motoren **"Ready for H₂"**.

„Ready for H₂“ bedeutet, dass die Jenbacher Anlage grundsätzlich in Zukunft auf den Betrieb mit bis zu 100 % Wasserstoff umgerüstet werden kann. Details wie Kosten und Zeitrahmen für eine solche Umrüstung können variieren und müssen individuell geklärt werden.

Darüber hinaus können Motorvarianten mit der Option angeboten werden, die den Betrieb mit bis zu **25% (vol) H₂ im Pipelinegas** ermöglicht.

Baureihe 4 Motoren werden für einen Betrieb mit **100% H₂** angeboten.

Im Jahr 2025 erweitern wir unser Jenbacher-Produktportfolio um einen 100%igen H₂-Betrieb für Motoren des Typs 6 bis zu **4 MW**.

JENBACHER PRODUKTPALETTE – READY FOR H₂

Aktuell und zukünftig verfügbare Produkte

Elektrische Leistung (kWel)

| Generatorleistung @ 50 Hz mit Pipelinegas betrieben | | | | | | | | A | | B | C |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|---|--------------------------|--|---------------------------------------|
| 0 | 1.000 | 2.000 | 3.000 | 4.000 | 5.000 | [...] | 10.000 | H ₂ im Pipelinegas <5% (Vol.) | <25% (Vol.)* optional | Pipelinegas/H ₂ -Motor 0 - 100% (Vol.) | Reiner H ₂ -Motor 100 % |
| Baureihe 9 | | | | | | | J920 FleXtra | ✓ | ✓ | 25 % | 2025+ |
| Baureihe 6 | | | | | | | J612 J616 J620 J624 | ✓ | ✓ | 60 % | 2025+ |
| Baureihe 4 | | | | | | | J412 J416 J420 | ✓ | ✓ | 100 % | ✓ |
| Baureihe 3 | | | | | | | J312 J316 J320 | ✓ | ✓ | 60 % | 2025+ |
| Baureihe 2 | | | | | | | J208 | ✓ | ✓ | 60 % | 2025+ |

*Vorbehaltlich notwendiger Anpassungen für Zertifizierung der Brenngasbauteile - kann eine Änderung des Wartungsplans für diese Bauteile notwendig machen.

WASSERSTOFF

Eigenschaften

| Eigenschaft | Einheit | Methan | H ₂ |
|--|------------------------|-----------|----------------|
| Methanzahl | [-] | 100 | 0 |
| Dichte | [kg/Nm ³] | 0,66 | 0,09 |
| Heizwert | [kWh/Nm ³] | 10 | 3 |
| Zündverzugszeit ($\lambda=1$, T=1200K, p=30bar) | ms | 1,33 | 0,11 |
| Lam. Flammgeschwindigkeit ($\lambda=1$, T=300K, p=1bar) | m/s | 0,37 | 2,1 |
| Min. Zündtemperatur | K | 659 | 780 |
| Min. Zündenergie | mJ | 0,28 | 0,016 |
| Zündgrenzen in Luft (20°C) | Vol% | ~4,4 - 17 | ~4 - 77 |
| Klassifikation | - | IIA/T1 | IIC/T1 |

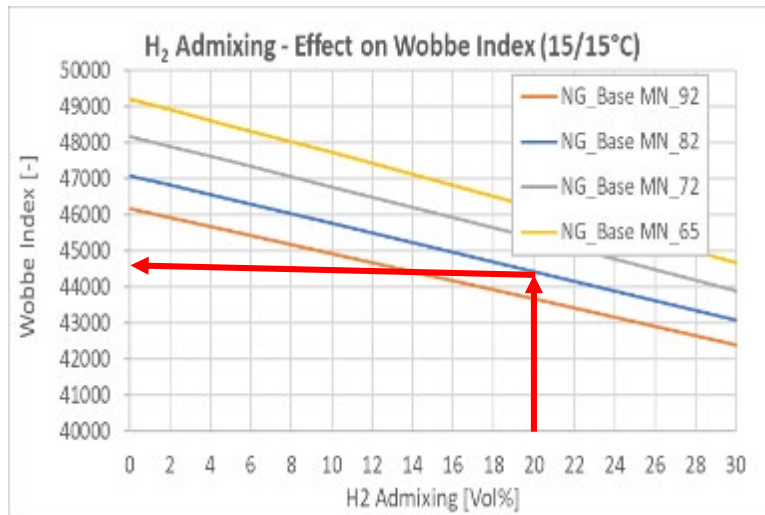
Wasserstoff hat signifikant andere Eigenschaften als Methan.
Diese erfordern umfangreiche Anpassungen am Gasmotor.



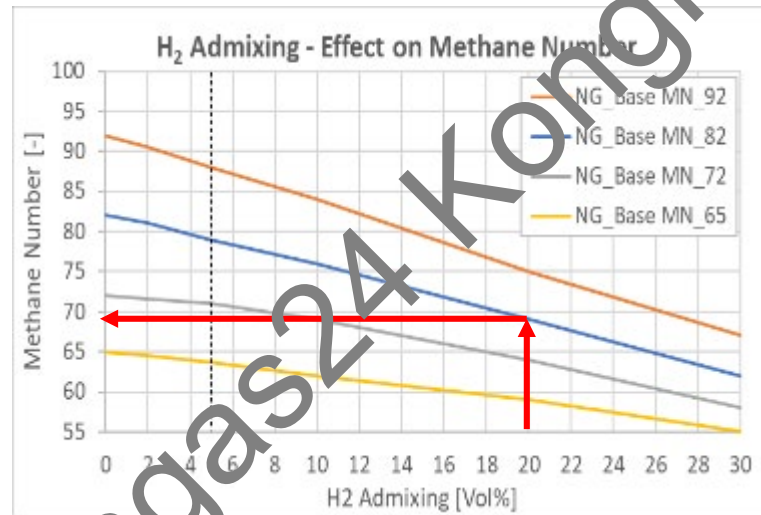
DEKARBONISIERUNG DES PIPELINENETZES MIT WASSERSTOFF

Wasserstoffzumischung ändert die Eigenschaften des Energieträgers

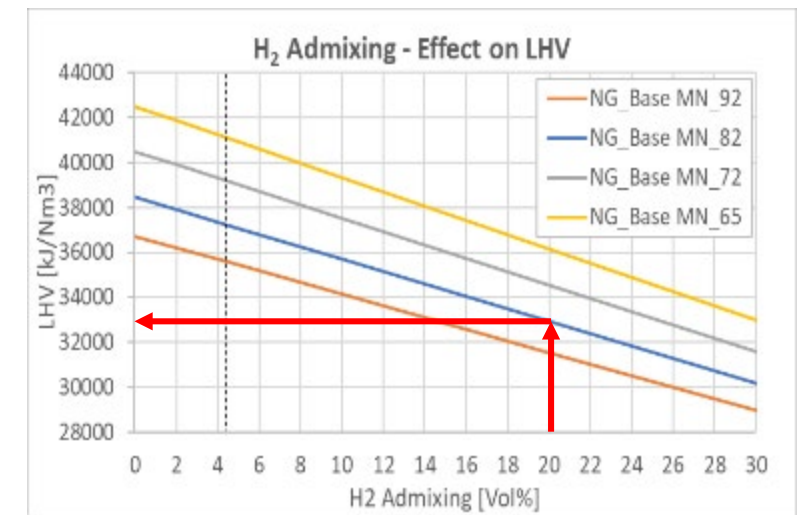
H₂ Zumischung und Auswirkungen auf den WI



H₂ Zumischung und Auswirkungen auf die MZ



H₂ Zumischung und Auswirkungen auf Hu



20 Vol% H₂ -> 10-15 MZ Reduktion

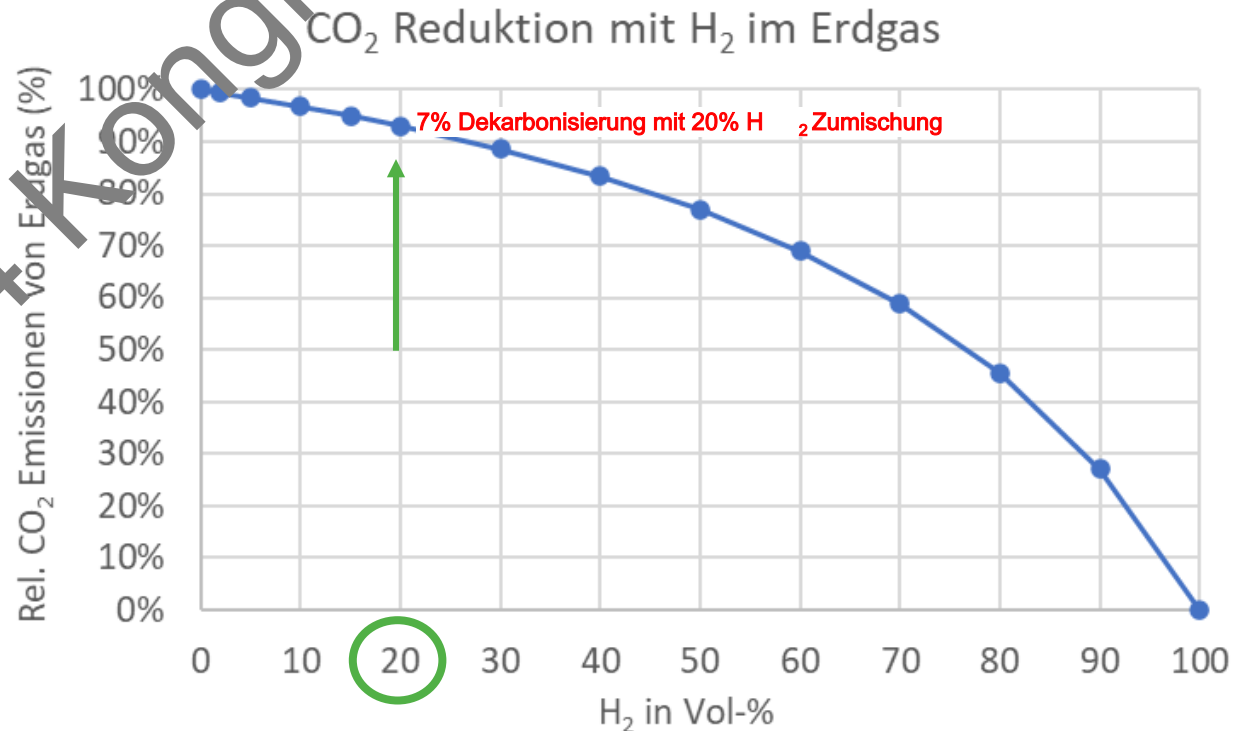
20 Vol% H₂ -> ~15% geringerer Heizwert

DEKARBONISIERUNG DES PIPELINENETZES MIT WASSERSTOFF

Wasserstoffzumischung ändert die Eigenschaften des Energieträgers

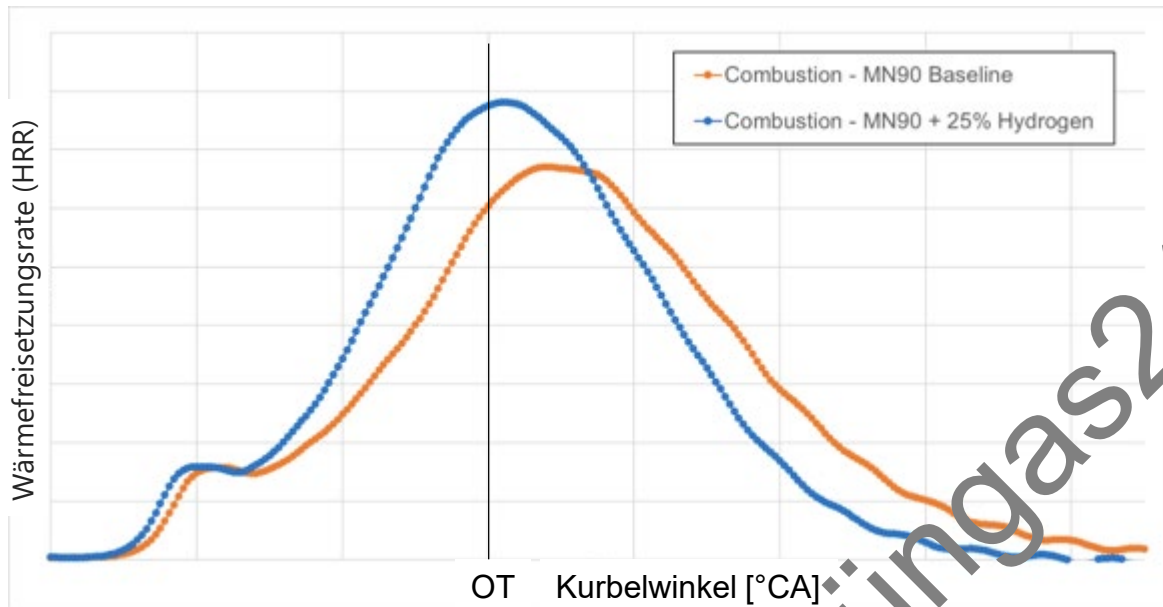
| | | Erdgas | Wasserstoff |
|-------------------------------|----------------------------------|--------|-------------|
| CH ₄ | Vol-% | 97.6 | 0 |
| C ₂ H ₆ | Vol-% | 2 | 0 |
| C ₃ H ₈ | Vol-% | 0.4 | 0 |
| H ₂ | Vol-% | 0 | 100 |
| LHV | kJ/Nm ³ | 36 730 | 10 800 |
| WI | kJ/Nm ³ | 48 704 | 41 000 |
| MZ | - | 92 | 0 |
| Stöchiom. Luftverbrauch | Nm ³ /Nm ³ | 9.7 | 2.7 |
| Laminar Flammgeschwindigkeit | cm/s | 38 | >300 |

Wasserstoff zugemischt im Erdgasnetz



ERKENNTNISSE DURCH ERPROBUNG VON H₂ ZUMISCHUNG

H₂ Zumischung ohne Motor Parameter Anpassung



H₂ Zumischung zu Erdgas bei **konstanten** Motorparametern führt zu:

- schnellere Verbrennung
 - Erweiterte Zündgrenzen (Magergrenze)
- ➔ höhere Spitzendrücke (= Belastung für den Motor)
- ➔ höhere NO_x Emission, reduzierte CO & HC Emissionen

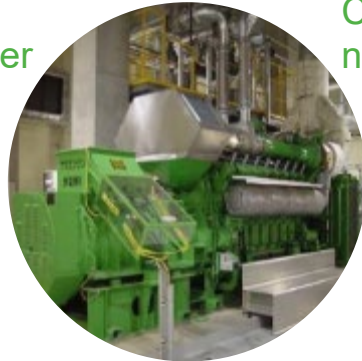
Eine unkontrollierte Zumischung von H₂ zum Pipelinenetz veränderte die Verbrennungslage und die daraus resultierenden Belastungen für den Motor

LANGJÄHRIGE ERFAHRUNG MIT WASSERSTOFF UND WASSERSTOFFGEMISCHEN



> 95 % H₂
als Energieträger

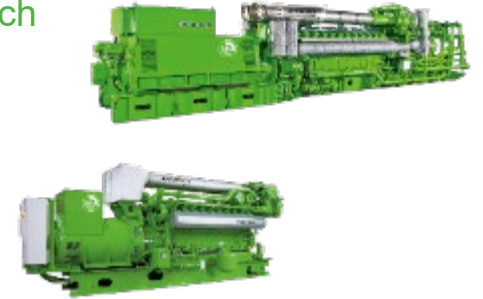
4 x 200.000
Betriebsstunden



CO₂-
neutral



Pipelinegas /
Wasserstoffgemisch



Prozessgas (Krems)
Inbetriebnahme 1996

Synthesegas (Mutsu)
Inbetriebnahme 2003

Pipelinegas (Hychico)
Inbetriebnahme 2008

Reiner Wasserstoff
2021+

H₂: ~ 18– 20 % vol
CH₄: ~ 0,5 % vol
LHV: ~ 0,6 kWh/m³

H₂: ~ 30 – 40 % vol
CO: ~ 25 – 30 % vol
LHV: ~ 2,5 kWh/m³

H₂: ~ 0 – 42 % vol
CH₄: ~ 100 – 58 % vol
LHV: ~ 10 – 7 kWh/m³

H₂: ... 100 % vol
Pipelinegas oder Inertgase
LHV: ~ 3 kWh/m³

Kommerzieller Betrieb
(Herausforderung: schwankende Gasqualität)

Zukunft

~250MW installierte Leistung mit synthetischen Gasen / Prozessgasen

H₂ ZUMISCHUNG JENBACHER DEMOPROJEKTE

Demoprojekte

30%v H₂

Sinfonia Bozen — Italy
Horizon 2020 Demo

J612, Hauptenergieträger Pipelinegas



30%v H₂

Biogas Strem — Austria
2008 Demo

J312, Hauptenergieträger Pipelinegas

42%v H₂

Hychico — Argentina
Betrieb seit 2008

J420, Hauptenergieträger Pipelinegas



60%v H₂



H₂Orizon Lampoldshausen
Geliefert Q2/2020

www.h2orizon.de

J312, Hauptenergieträger Pipelinegas

up to 100%v H₂

HanseWerk Natur — Hamburg
2020/2021 Demo

J416, Hauptenergieträger Pipelinegas



60%v H₂

Hazama Ando — Japan
01/2020 Demo

J312, Hauptenergieträger Pipelinegas

HYCHICO, ARGENTINIEN

Hychico, Diadema Wind Park / H₂ Demoanlage



Demoanlage Grüner H₂:

6.3 MW Windpark mit **Kapazitätsfaktor > 50%**

0.8 MW Elektrolyse (2 Stk), 120 Nm³/hr H₂

Reiner H₂ (99.998%), O₂ für lokalen Markt

Untergrund-Speicherung von H₂ (Forschungsprojekt)



~100.000 Ph
seit 2008

J420: Rückverstromung von H₂

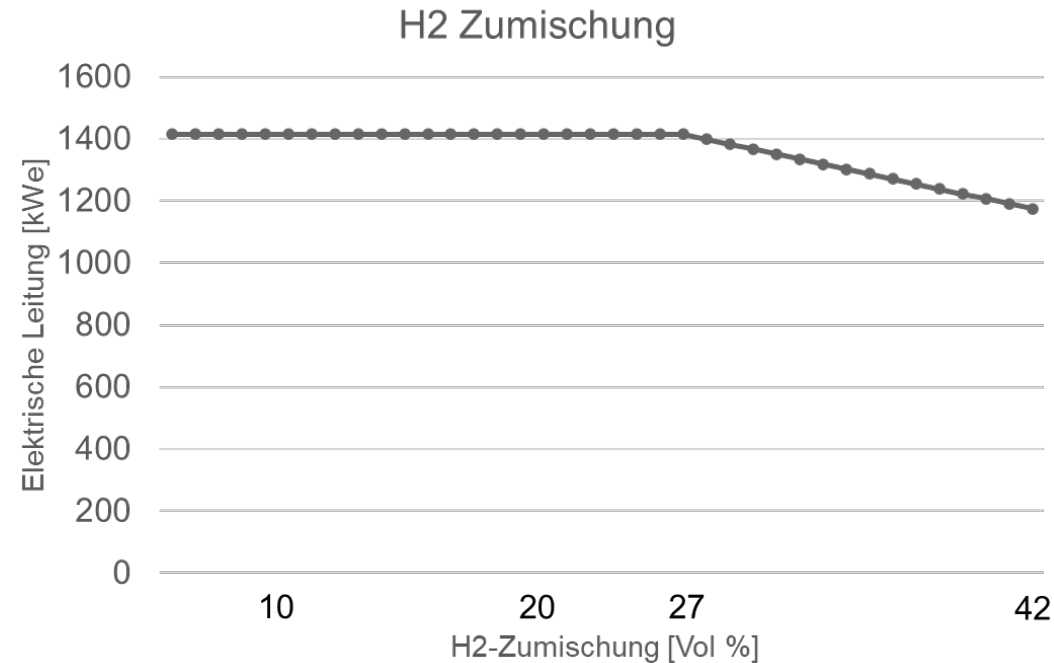
Leistung 1.4 MW_{el}

Hauptgas: Erdgas MZ >90

Kontrollierte H₂ Zumischung

0-27 v% H₂ 1.4 MWe

28-42 v% H₂ 1.4 - 1.2 MWe



www.hychico.com

H2-MOTOR – KRAFTSTOFFSYSTEM

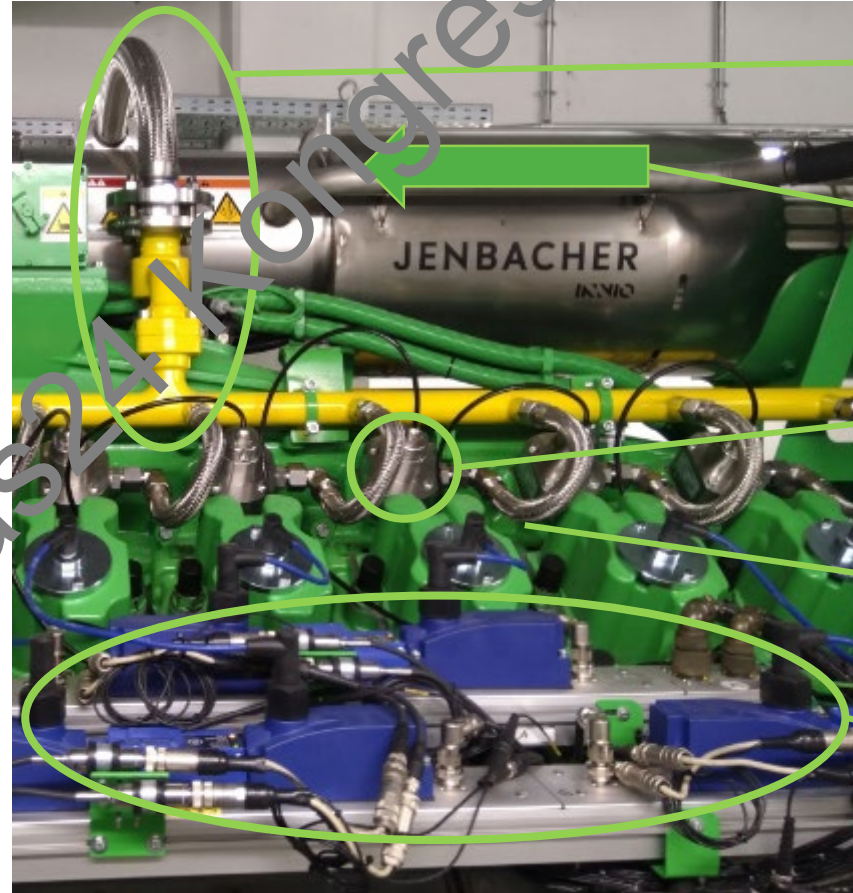
Jenbacher Typ 4 – Gemischaufladung

Erdgas Betrieb

- Gas Dosierung
- Gas Mixer
- Aufladung
- Gemischkühler



Jenbacher H2-Motor – Port Injection



H₂ Gas-Regelstrecke

Luft

Port Injection (PI)
H₂ Ventile

Schmieröl
H₂ - optimiert

Zylinder basierte
Regelung

H2-MOTOR – DEMONSTRATION EINER UMRÜSTUNG VOR ORT

Umbau 2020 – HWN Othmarschen: Erster MW Motor der im Feld von Pipelinegas- auf Wasserstoffbetrieb umgerüstet wurde

| | Pipelinegas | 25%v H ₂ Zumischung (nach Umbau) | 100% H ₂ Betrieb (nach Umbau) |
|----------------------------------|---|---|--|
| J416 | (Auslegung 2019) | (nach Umbau) | (nach Umbau) |
| Elektrische Leistung | 999 kW | 999 kW | >600 kW |
| Elektrischer Wirkungsgrad | 42% | ~42% | ~40% |
| Gesamtwirkungsgrad | 93.5% | ~93.5% | ~90% |
| NO_x Emissionen | <250 mg/Nm ³ @ 5%O ₂ | <250 mg/Nm ³ @ 5%O ₂ | <100 mg/Nm ³ @ 5%O ₂ |
| CO₂ Emissionen | 216 g/kWh _{el} | 201 g/kWh _{el} (-7%) | 0 g/kWh _{el} (-100%) |



Technologie:

- Port Injection (erf. H₂-Druck: 8+bar)
- Individuelle Zylindersteuerung
- Wastegate für Turbolader

HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES: H2- MOTOR

Ulsan, Südkorea

| J420 | Pipelinegas | 100% H ₂ |
|----------------------------|---|---|
| Elektrische Leistung | 1.060 kW | 1,060 kW* |
| Elektrischer Wirkungsgrad | 38.4% | ~38.4% |
| Gesamtwirkungsgrad | ~89% | ~85% |
| NO _x Emissionen | <250 mg/Nm ³ @ 5%O ₂ | <100 mg/Nm ³ @ 5%O ₂ |
| CO ₂ Emissionen | 226 g/kWh _{el} | 0 g/kWh _{el} |
| H ₂ Verbrauch | | ~83 kg/h |

Größte 60 Hz H₂-Motor Anlage in Asien

Wasserstoff als Nebenprodukt von einer Polypropylen Produktion von Hyosung Chemical

Hyosung Heavy Industry demonstriert den Einsatz von Wasserstoff in einer industriellen IPP Anlage

In Betrieb seit Mitte 2024



NORTH C RECHENZENTRUM, EINDHOVEN, NL

Erstes Rechenzentrum mit H₂-Motor für Back-up

NorthC Rechenzentrum

Kleine regionale Rechenzentren (RZ) in den Niederlanden, Deutschland und der Schweiz

15 lokale Rechenzentren, davon 10 in NL

CO₂ neutral bis 2030

DC Groningen (2022): erstes RZ mit H₂-Brennstoffzelle im Standby-Betrieb

DC Eindhoven (2023): erstes RZ mit 6 Jenbacher JGC420 H₂-Motoren

In der Zukunft ... neue und Ersatz-Stromversorgung auf H₂-Basis



Rechenzentrum Eindhoven

6 MWe ... Standby-Stromversorgung auf der Grundlage von 6 x 1 MWe H₂-Motoren (JGC420)

Überarbeitetes Konzept für USV & Kühlung/Kältemaschinen

Dual-Fuel H₂-Motoren (Pipeline-gas als Reserveenergieträger)

H₂ als Hauptenergieträger aus lokalen H₂-Speichern, bis eine H₂-Pipeline verfügbar ist

Pipeline-gas als Reserveenergieträger bei längeren Netzausfällen

<https://www.northcdatacenters.com/en/about-us/sustainable-data-centers/>



RAG H2- UNTERGRUND SPEICHER, ÖSTERREICH

Sommer Betrieb

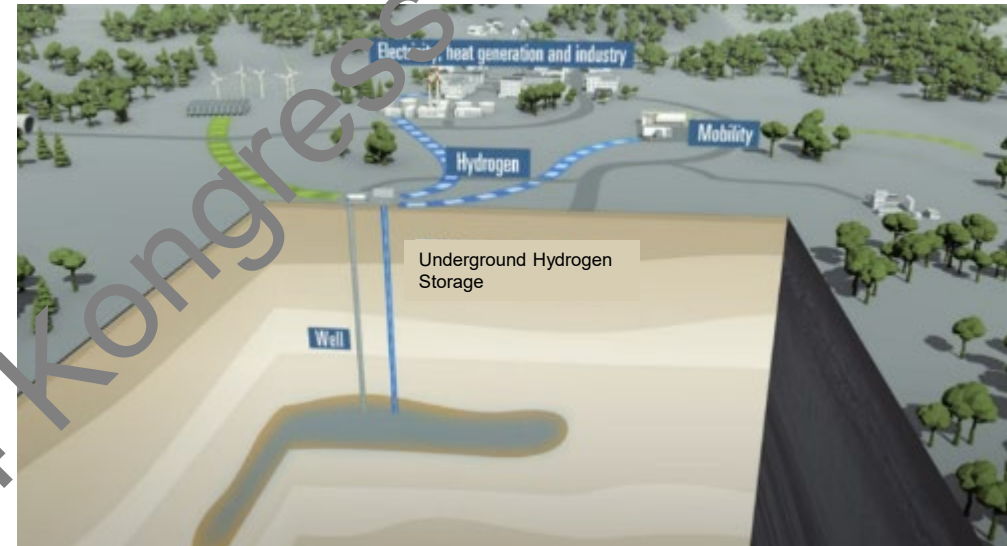
- Solar PV Überschuss
- 2 MW Elektrolyse für grüne H₂ Produktion
- H₂ Verdichtung

Saisonaler Speicher

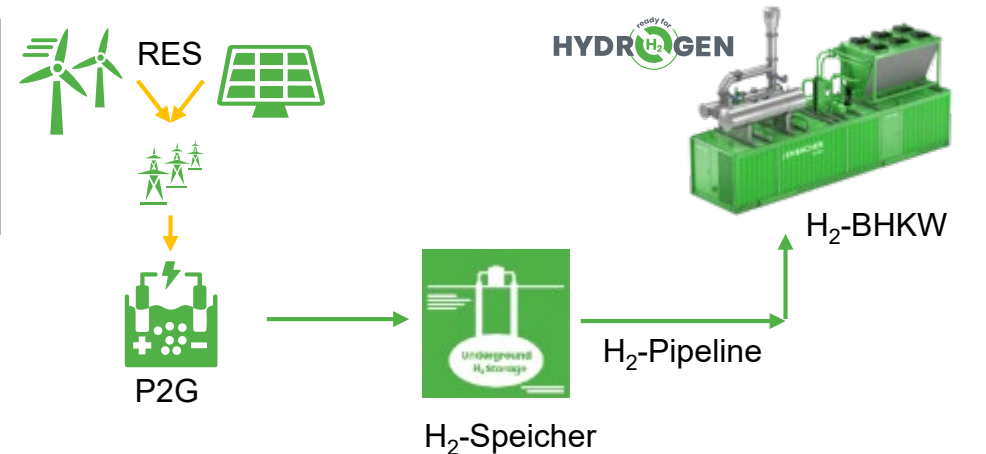
- 1.2 mio. Nm³ H₂ Speicher (modifizierter Erdgasspeicher)
- 8 km H₂-Pipeline vom H₂-Speicher zum BHKW
- Bis zu 600 Nm³/h H₂-Pipeline Kapazität

Winter Betrieb

- J412 Container als BHKW
- 530 kW elektr. Leistung & 550 kW Wärme
- 100% H₂ und bis zu 40% NG / 60% H₂ Mischung
- Inbetriebnahme Q2'24
- ~2,000 bis 4,000 oh/a



Sommer
Betrieb



Winter
Betrieb

KremsChem, KREMS, ÖSTERREICH

H₂-haltiges Schwachgas aus chem. Prozess

Phase I: im Betrieb seit 1996

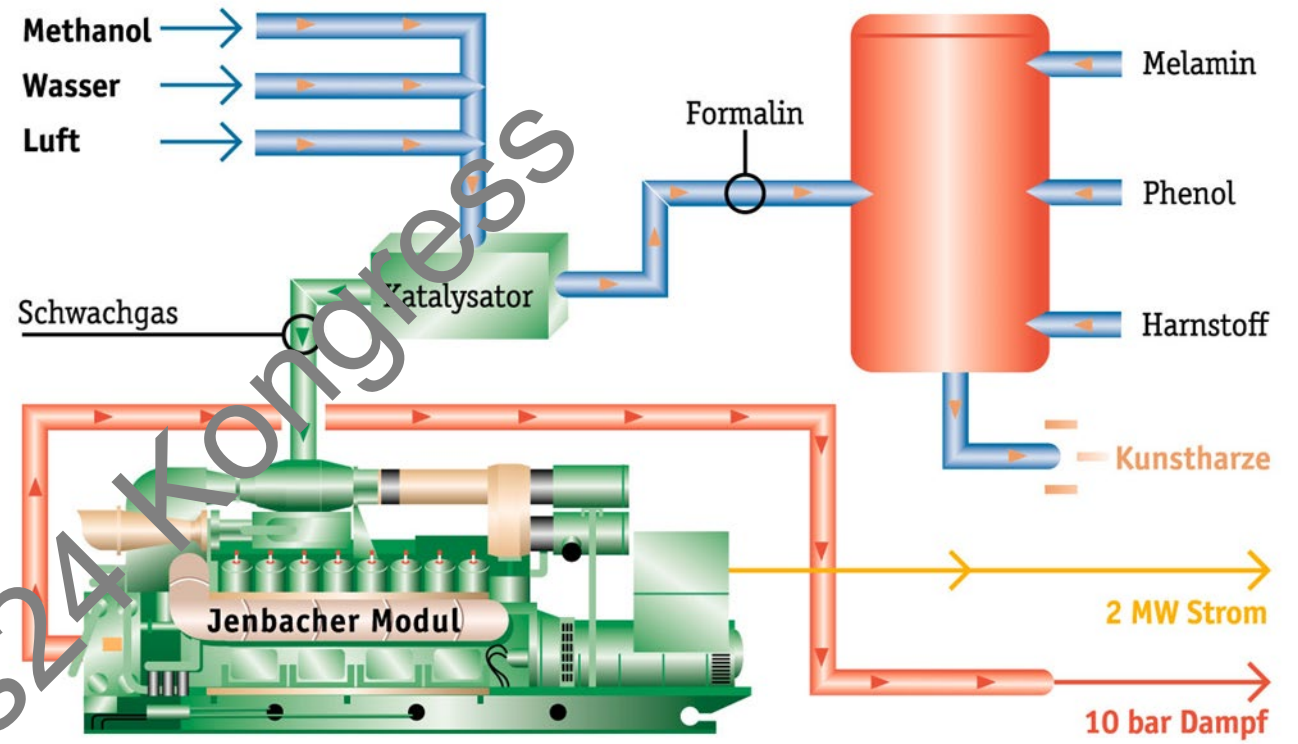


4 x J320
~2,400 kW

- Dauerläufer (BHKW mit Dampf)
- 8,000+ Bh / a
 - 200,000 oph / Aggregat ('23)

H₂: ~17 - 20 vol%
Rest: N₂ & CO₂
Hu: ~0.6 kWh/Nm³

energetisch >95% H₂



Seit über 200.000 Bh / 28 Jahre im Betrieb – sehr geringe Emissionen

KremsChem, KREMS, ÖSTERREICH

H₂-haltiges Schwachgas aus chem. Prozess

Phase II: Erweiterung in 2024



Foto © Christian Holzinger



Foto © KremsChem

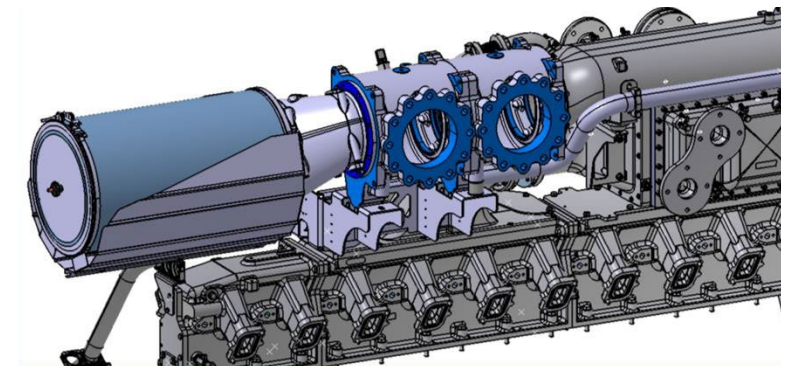


Foto © KremsChem

4 x J420
~3,7 MWe
Dauerläufer
• 8,000+ Bh / a

H₂: ~17 - 20 vol%
Rest: N₂ & CO₂
Hu: ~0.6 kWh/Nm³

energetisch >95% H₂



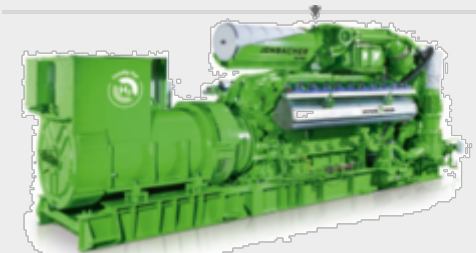
Erfolgreiche Erweiterung in 2024

H₂ ZUMISCHUNG ZUM PIPELINENETZ – VALIDIERUNG IM WERK IN JENBACH

H₂ Trailer Station für Prüfstände in Jenbach

Heute

Validierungsgegenstand



H₂ Zumischung oder H₂ Betrieb



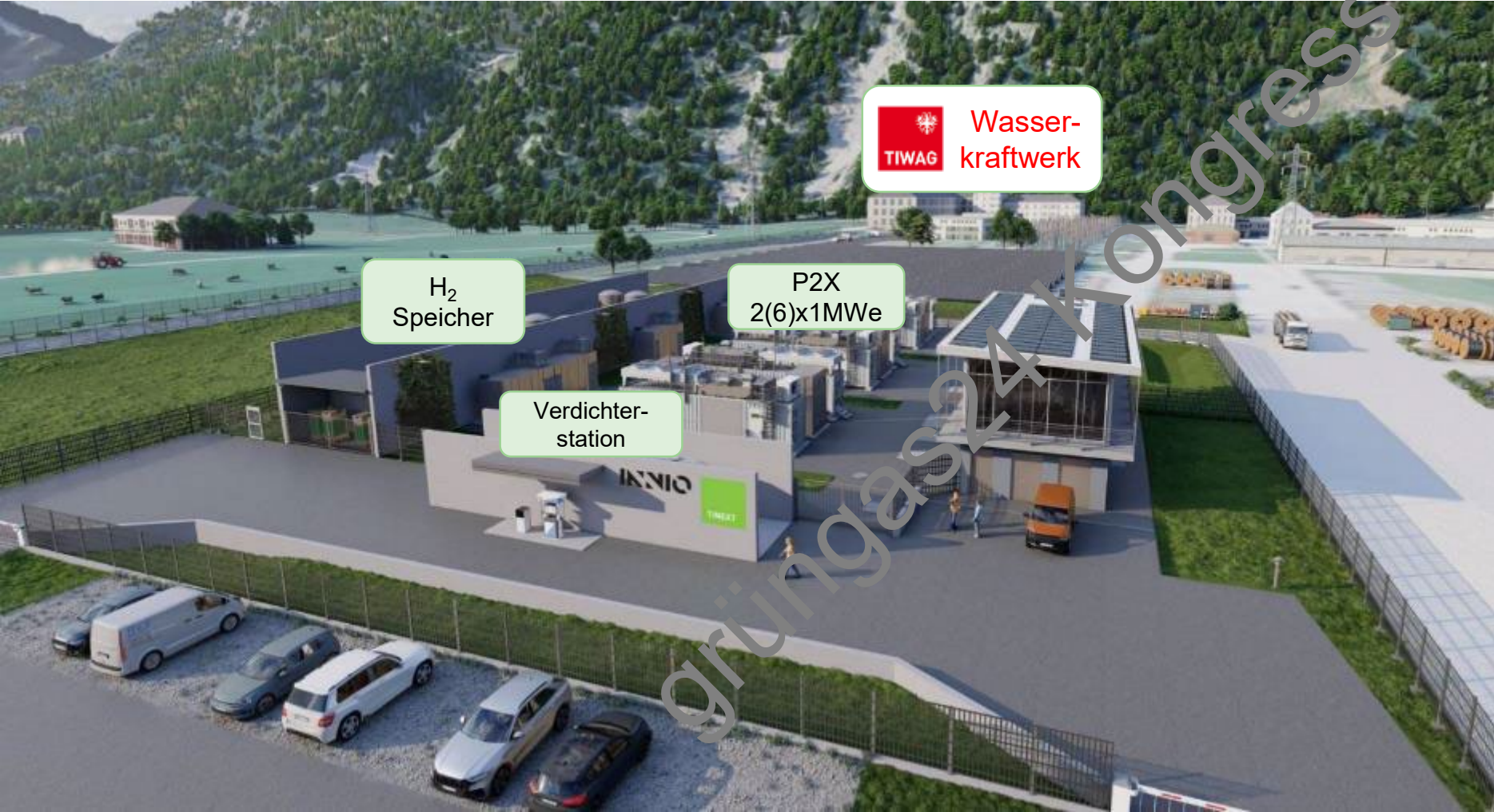
H₂ Trailer Station zur Versorgung der Prüfstände



Investition in H₂ Infrastruktur am Standort Jenbach für erforderliche Produktentwicklung

STANDORT JENBACH... WASSERSTOFF - VERSORGUNG

Morgen



TIWAG Wasserkraftwerk

H₂ Speicher

P2X
2(6)x1MWe

Verdichterstation

- 2 (6) MWe Elektrolyse (30+ bar)
- 1.000 kg Speicher (500 bar)
- H₂ Leitung zum Standort (50bar)
- Optional 6 MWe/3000kg

Projekt

- Projekt Start Q4'21
- IB Q1'25

H₂ Produktion

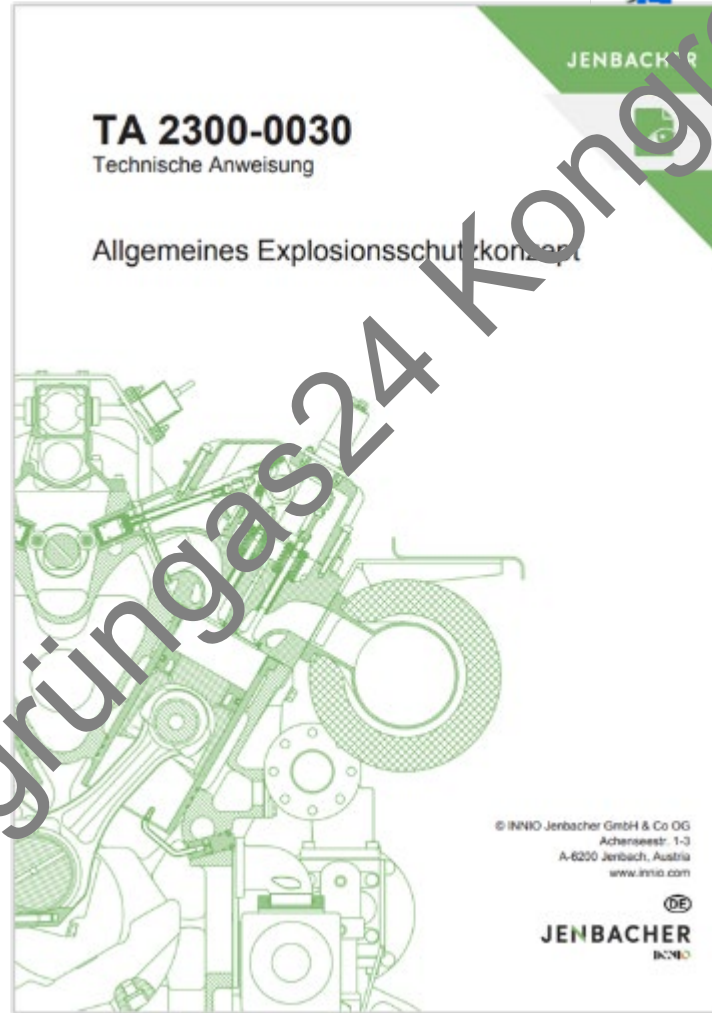
- Nom. Pel 2 x 1 MWe
- H₂-Produktion 35 kg/h total
- Kapazität 200 – 300 t/a

H₂ Speicher

- H₂ Tank 1,000 kg
- Druck 500 bar
- Aufladezeit Tank ~23 h

TÜV SÜD ZERTIFIZIERUNG – H₂ READINESS

- ✓ 100% H₂ Motorkonzept für BR 4 & BR 6 geprüft
- ✓ Anlagenkonzept geprüft
- Ex-Schutz Richtlinien inkl. H₂



H₂-READINESS CONCEPT CERTIFICATE

The Certification Body of
TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Energy and Systems

JENBACHER | INNIO

INNIO Jenbacher GmbH & Co OG
Achenseestrasse 1-3
6200 Jenbach, Austria

complies with the requirements
as defined in the TÜV SÜD guideline:
**Certification Guideline H₂-Readiness of
Gas Engine Power Plants,**
Edition 2023 Rev. 1.

The hydrogen readiness concept meets the requirements for the certification of hydrogen readiness for 100% hydrogen.

This Certificate is based on the Audit Report 500604284-2 Rev.1 dated 18.09.2023.

This Certificate is valid till 04.10.2026.

Certificate – Register-No.: KC/500604284-2/32/23

Valid until: 05.10.2023

Thomas Gollinger
Principal Certifier
Certification Body Energy and Systems

Katrin Hausmann
Certification Body
Energy and Systems

© INNIO Jenbacher GmbH & Co OG
Achenseest. 1-3
A-6200 Jenbach, Austria
www.innio.com

TÜV SÜD

Certificate – Register-No.: KC/500604284-2/32/23

This Certificate exclusively focuses on the first stage of the certification process of the TÜV SÜD Certification Guideline "H₂-Readiness of Gas Engine Power Plants" (basis of the assessment), namely the Concept Certification.

The hydrogen readiness concept of INNIO Group covers engine power plants using main systems, components and overarching topics:

| Systems and components | | Overarching topics | |
|---|---|------------------------------|--------------------------|
| Auxiliaries | Plant-related instrumentation and control | Overall plant performance | Hazard and risk analysis |
| Building | | Explosion protection concept | Conformity |
| Heating, ventilation and air conditioning | | Fire protection concept | Permits |

The hydrogen readiness concept of INNIO Group for the above-mentioned items meets the requirements for the certification of hydrogen readiness for 100% hydrogen.

For the gas engine, the following Technology Readiness Levels (TRL) are considered subsystems:

| | Jenbacher Type 6 engine |
|--|-----------------------------|
| | TRL for 100% H ₂ |
| | 5 |
| Gas Supply System | 5 |
| Ex-protected Gas System and Turbocharger | 5 |
| Control System | 5 |
| Control Concept | 5 |
| Ex-protected | 5 |
| Ex-protected | 5 |
| Gas engine package at bidding phase of 5 necessary for all subsystems) | H ₂ -Ready |

Following definitions of the TRL:

| Definition of the Technical Readiness Level (TRL) acc. to assessment basis | |
|--|--|
| TRL 6: Prototype (first H ₂ project) in test operation (test bench, engine, etc.) | 6: Prototype (first H ₂ project) in test operation (test bench, engine, etc.) |
| TRL 7: Prototype (first H ₂ project) in continuous operation (subsystems) | 7: Prototype (first H ₂ project) in continuous operation (subsystems) |
| TRL 8: Qualified system with proof of successful use in first H ₂ project | 8: Qualified system with proof of successful use in first H ₂ project |
| TRL 9: Qualified system with proof of successful use in real environment | 9: Qualified system with proof of successful use in real environment |
| TRL 10: There is no proof in a commercial H ₂ project, yet, but manufacturer stated compatibility | 10: There is no proof in a commercial H ₂ project, yet, but manufacturer stated compatibility |

TÜV SÜD

JENBACHER – BAUREIHE 4 H2 MOTOR

Zusammenfassung, Fazit & Aussicht

Wasserstoff ist ...

- ... ein wichtiger Teil der Energiewende
- ... ein herausforderndes Medium
- ... eine Alternative zu fossilen Kraftstoffen

INNIO Group wird ...

- ... weiter an Jenbacher Wasserstoff-Motorentechnologie arbeiten
- ... andere Baureihen für 100% Wasserstoff fit machen
- ... mit Neuentwicklungen die Leistungsdichte erhöhen

INNIO Group hat ...

- ... Jenbacher Baureihe 4 Motoren für 0-100% Wasserstoffbetrieb
- ... ein Jenbacher Baureihe 4 für einen sicheren Motorbetrieb mit Wasserstoff
- ... nahezu keine Emissionen im Wasserstoffbetrieb
- ... eine Jenbacher Steuerung für einen automatisierten, flexiblen Betrieb mit beliebigen Wasserstoff-Pipelinegasmischungen

Aussicht

- ... Weitere Pilot-/Demoprojekte geplant
- ... Kooperationen verschiedener Vertragspartner



INNIO Group is a leading energy solution and service provider that empowers industries and communities to make sustainable energy work today. With its Jenbacher and Waukesha product brands and its AI-powered myPlant digital platform, INNIO Group offers innovative solutions for the power generation and compression segments that help industries and communities generate and manage energy sustainably while navigating the fast-changing landscape of traditional and green energy sources. INNIO Group is individual in scope, but global in scale. With its flexible, scalable, and resilient energy solutions and services, INNIO Group enables its customers to manage the energy transition along the energy value chain wherever they are in their transition journey.

INNIO Group is headquartered in Jenbach (Austria), with other primary operations in Waukesha (Wisconsin, U.S.) and Welland (Ontario, Canada). Through a service network in more than 100 countries, a team of more than 4,000 experts provides life-cycle support to the more than 57,000 engines that INNIO Group has delivered globally.

INNIO Group's ESG strategy has been recognized and awarded by esteemed rating agencies such as Sustainalytics and EcoVadis. Additionally, the company's near-term climate targets until 2030 have been validated by the Science Based Targets initiative (SBTi).

For more information, visit INNIO's website at www.innio.com. Follow INNIO Group and its brands on [X](#) (formerly known as Twitter) and [LinkedIn](#).

© Copyright 2024 INNIO.

Information provided is subject to change without notice. This material is INNIO proprietary information and may not be copied or distributed in whole or part without the prior written permission of the copyright owner.

In general, "Ready for H₂" Jenbacher units can be converted to operate on up to 100% hydrogen in the future. Details on the cost and timeline for a future conversion may vary and need to be planned individually.

INNIO, Jenbacher, Waukesha, and myPlant are trademarks or registered trademarks of the INNIO Group, or one of its subsidiaries, in the European Union, the United States and in other countries. For a list of INNIO Group trademarks, please visit innio.com/trademarks. All other trademarks and company names are the property of their respective owners.

JENBACHER

Jenbacher is part of the INNIO Group



ENERGY SOLUTIONS.
EVERYWHERE, EVERY TIME.



JENBACHER

grüngaS24 Kongress