



vgbe Positionspapier

Factsheet H2-Readiness für Gasturbinenanlagen

Januar 2023

Factsheet: H2-Readiness für Gasturbinenanlagen

vgbe energy e.V. vertritt Betreiber von Anlagen zur energetischen Nutzung von Wasserstoff. Mit seinem im September 2022 erschienenen H2-Ready-Positionspapier hat der Verband die Sicht seiner Mitgliedsunternehmen in die aktuelle Debatte um die Definition von H2-Readiness eingebracht. In Ergänzung dazu stellt dieses Factsheet weiterführende Informationen zur Nutzung von Wasserstoff in Gasturbinenanlagen zur Verfügung.

Inhalt

1	Allgemeine Anforderungen an die H2-Readiness	3
2	Anteil des Wasserstoffs an der Feuerungswärmeleistung im Gasgemisch.....	3
3	Einstufung der Gasturbinenanlage auf dem Weg zur H2-Readiness	4
4	Kriterien zur Bewertung der H2-Readiness	7
5	Zusammenfassung.....	15

1 Allgemeine Anforderungen an die H₂-Readiness

Auch im Energiesystem der Zukunft werden last- und brennstoffflexible Gasturbinen mit schadstoffarmer Verbrennung eine wichtige Rolle spielen, da sie für die notwendige Stabilität und Flexibilität im Stromnetz sorgen. Als Brennstoffe in einem CO₂-freien Energiesystem kommen dem Wasserstoff und darauf basierenden Energieträgern, wie z.B. Ammoniak, eine zentrale Bedeutung zu.

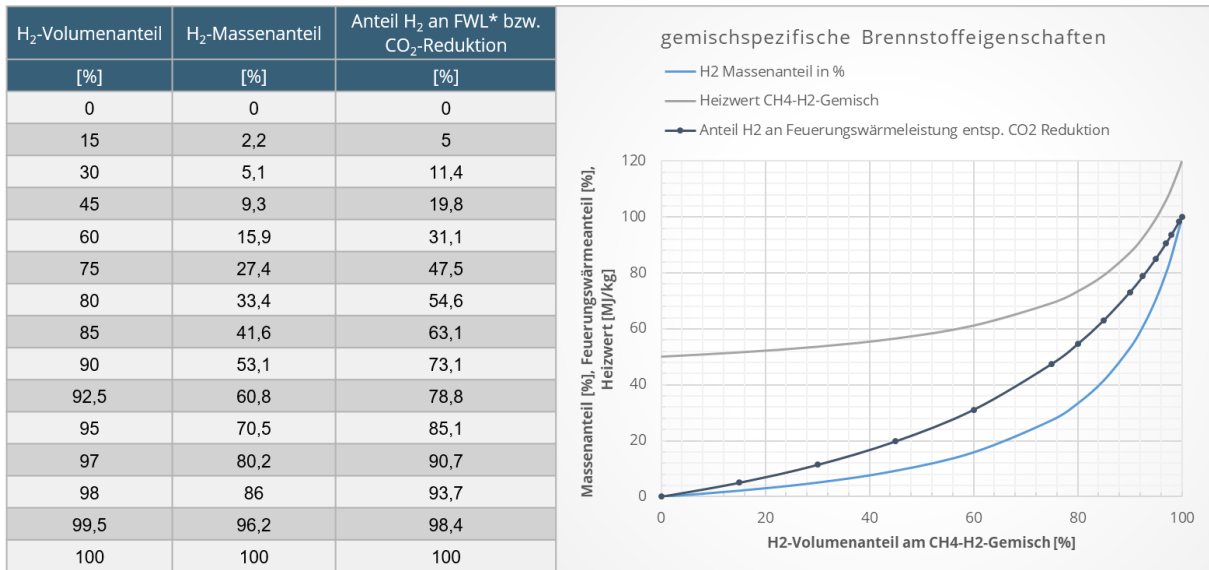
Die Gasturbinen müssen in der Lage sein, Gasgemische aus Erdgas und Wasserstoff in einem weiten Bereich zwischen 100%-Erdgas- und 100%-Wasserstoffanteil zu verbrennen sowie auch schnelle Veränderungen der Gemischzusammensetzung zu tolerieren. Gerade aufgrund der noch unklaren Versorgungslage ist die sichere Verbrennung von variierenden Gemischen unverzichtbar.

Dieses Anforderungsprofil betrifft Neu- sowie auch Bestandsanlagen. Demzufolge sollten Hersteller neben Neuanlagen auch Umbauoptionen für Bestandsanlagen entwickeln und anbieten. Dies ist notwendig, um eine kostenoptimierte CO₂-arme Energieversorgung zeitnah umsetzen zu können. Entsprechende Fördermöglichkeiten von Seiten der Politik können wichtige Impulse setzen, um nötige technische Entwicklungen anzustoßen.

2 Anteil des Wasserstoffs an der Feuerungswärmeleistung im Gasgemisch

Eine Anlage gilt als H₂-ready, wenn sie während ihrer Lebensdauer zu 100 % mit Wasserstoff betrieben werden kann. Auf dem Weg dahin sind mehrere Zwischenschritte denkbar. Um diesem unterschiedlichen Stand der H₂-Readiness und dem H₂-Einsatz verbundenen Dekarbonisierungsanteil Rechnung zu tragen, ist eine Einstufung der Anlagen nach dem H₂-Anteil an der Feuerungswärmeleistung (FWL) erforderlich. Diese Stufen stellen technologische Entwicklungsstufen vor allem in der Verbrennungstechnik dar.

Insbesondere die Unterschiede bei Dichte und Heizwert führen dazu, dass sich von der Angabe des Wasserstoffanteils in Vol.-% nicht direkt auf die CO₂-Reduktion schließen lässt. Abbildung 1 veranschaulicht diesen Zusammenhang. Dabei ist zu sehen, dass Wasserstoffanteile von weniger als 60 Vol.-% nur einen relativ geringen Einfluss von ca. 31 % auf die CO₂-Reduktion (im Vergleich zur reinen Erdgasverbrennung) haben.



*Feuerungswärmeleistung (FWL) ist diejenige Wärme, die einer Wärmekraftmaschine (z.B. einer Gasturbine oder einem Gasmotor) pro Zeiteinheit zugeführt wird

Der H₂ Anteil an der FWL entspricht dem Anteil CO₂ Reduktion

Abbildung 1: CO₂-Reduktion in Abhängigkeit vom H₂-Volumen- und H₂-Massenanteil im Erdgas-Wasserstoff-Gemisch, Quelle: Freimark, M.; Gampe, U.; Buchheim, G.: Betrachtungen zur H₂-Mitverbrennung in Gasturbinen, vgbe, 2022

In Bezug auf die Wasserstoffnutzung in Gasturbinen bzw. in Turbomaschinen allgemein ist festzustellen, dass allgemein gültige Regelwerke für die Auslegung, Werkstoffauswahl, etc. im europäischen Raum fast nicht verfügbar sind. Diese Unterlagen sollten zeitnah erstellt werden.

3 Einstufung der Gasturbinenanlage auf dem Weg zur H₂-Readiness

Die folgende Grafik zeigt verschiedene Zwischenstufen (Level 1 und 2) auf dem Weg zur H₂-Readiness (Level 3) sowie die damit verbundenen Kosten für Neu- und Bestandsanlagen. Mit Gasturbinenanlage ist eine Anlage gemeint, die die Brennstoffzuführung, die Gasturbine sowie die Rauchgasreinigung und -abführung umfasst. Bei Bestandsanlagen beziehen sich die Angaben auf eine Anlage im Erdgas-Standarddesign.

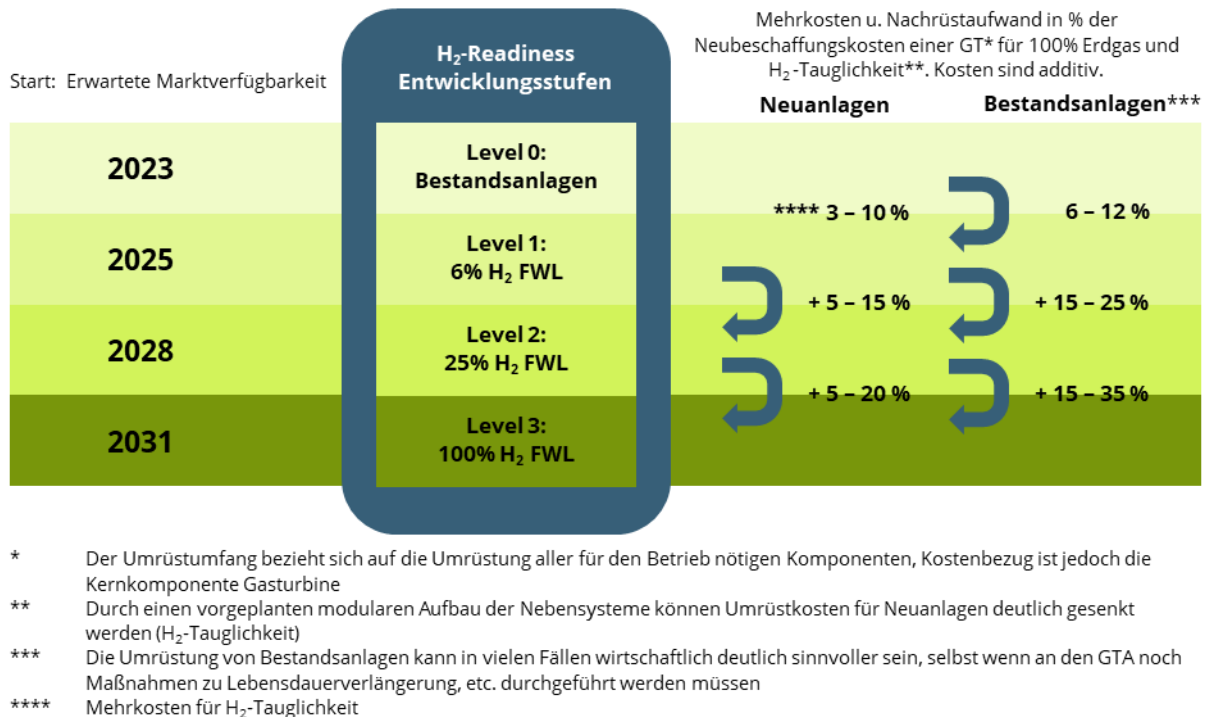
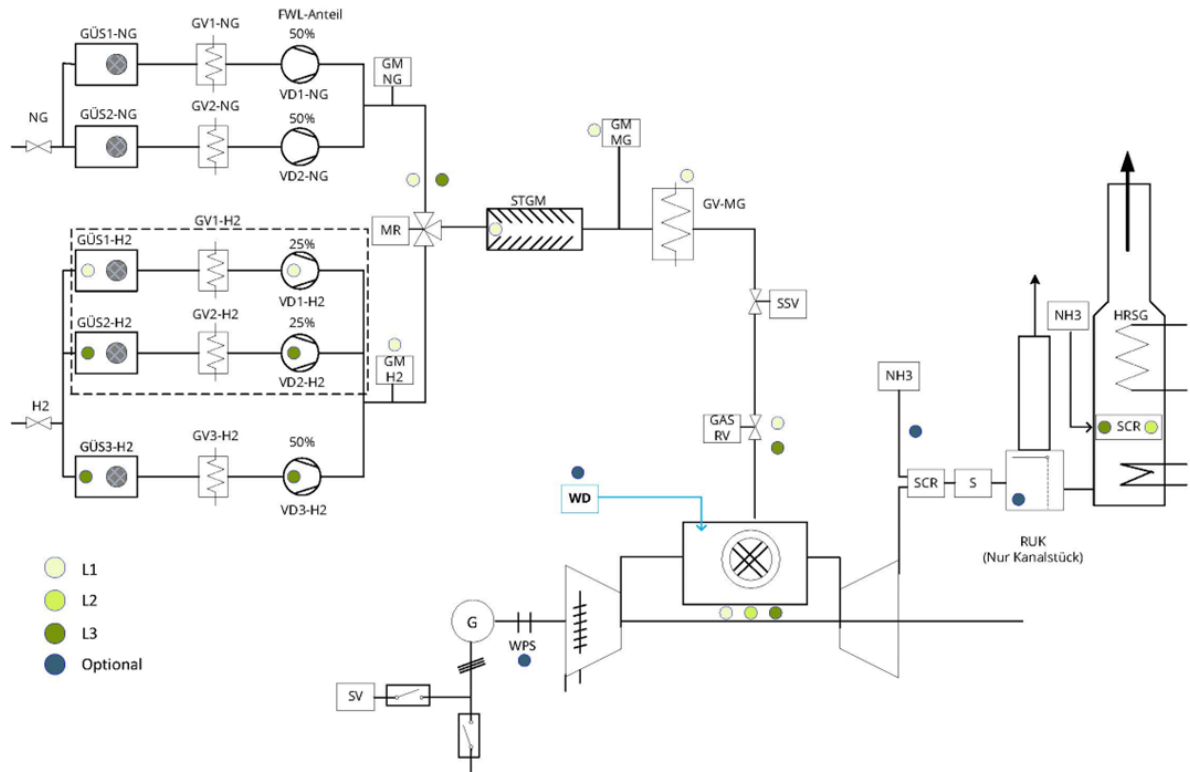


Abbildung 2: H2-Readiness Entwicklungsstufen für Gasturbinenanlagen

Folgende weitere Randbedingungen gelten für die Grafik:

- H₂-Verfügbarkeit in der GTA beeinflusst die Kosten (z.B. bei Einspeisung mit separater H₂-Leitung des neuen Wasserstoff-Netzes an der Kraftwerksgrenze oder mögliche Einspeisung eines Gas-Gemisches aus CH₄ mit H₂ bis 6 % FWL) – bei Verfügbarkeit eines Erdgas-H₂-Gemisches an der Anlagengrenze ist der Kostenaufwand geringer.
- In der Betrachtung der Maßnahmen zur H₂-Readiness von Bestandsanlagen sind flankierende Kosten für den Betrieb und die Instandhaltung, Lebensdauerverlängerung, Upgrade etc. nicht berücksichtigt.
- Bei korrekter Auslegung und Fertigung z.B. nach API 617 und 941 sind keine Werkstoffprobleme bezüglich verstärkter Wasserstoffversprödung bei Hochdruckanwendungen bekannt (Erfahrungen aus der chemischen Industrie).

Im folgenden Anlagenschema sind die Anlagenteile gekennzeichnet, die von den jeweiligen Upgrades betroffen sind.



GAS RV	Gasregelventil vor Brennkammer
GM H2	Gasmessstation Wasserstoff
GM MG	Gasmessstation Mischgas Erdgas/Wasserstoff
GM NG	Gasmessstation Erdgas
GÜS1-H2	Gasübergabestation Wasserstoff
GÜS1-NG	Gasübergabestation Erdgas
GV MG	Gasvorwärmer Mischgas Erdgas/Wasserstoff
GV1 H2	Gasvorwärmer Wasserstoff
GV1 NG	Gasvorwärmer Erdgas
HRSG	Abhitzedampferzeuger
MR	Gas-Mischventil Erdgas/Wasserstoff
NG	Natural Gas (Erdgas)
NH3	Ammoniaklager für Katalysator
RUK	Rauchgas-Umschaltklappe oder Kanalstück für späteren Bypass
S	Schalldämpfer
SCR	DeNOX Katalysator
SSV	Gas-Schnellschlussventil vor Brennkammer
STGM	Statischer Gasmischer
SV	Start Vorrichtung
VD1-H2	Gasverdichter Wasserstoff
VD1-NG	Gasverdichter Erdgas
WD	Wasserdampf (Einspritzung)
WPS	Wellen-Passstück für späteren Einbau einer Schaltkupplung für den Generator-Monobetrieb

Abbildung 3: Übersichtsskizze einer Gasturbinenanlage mit entsprechenden H2-Readiness-Maßnahmen.

4 Kriterien zur Bewertung der H2-Readiness

Bei der Bewertung der H2-Readiness werden folgende Teilsysteme betrachtet:

- Gasversorgung
- Brenngassystem zwischen Gaseinspeisung, Verdichter, Mischer, Brenngasblock bis Brennstoff-Schnellschlussventil (SSV)
- Verbrennungssystem und Gasturbine
- Abgassystem einschließlich Abhitze-Dampferzeuger
- Leittechnik und Maschinenschutz
- Brand- und Explosionsschutz
- Umrüstung bestehender Anlagen
- Genehmigungsverfahren, Emissionen etc.

Kriterien und Designanforderungen für die jeweiligen Teilsysteme	Bemerkungen/ besondere Anforderungen
Gasversorgung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Beimischung von H₂ in das bestehende Erdgasnetz sollte in einem ersten Schritt der Anteil von H₂ an der FWL 3 % H₂ und in einem zweiten Schritt 6 % nicht überschreiten, um den Weiterbetrieb möglichst vieler Bestandsanlagen zu ermöglichen. ▪ Im zukünftigen H₂-Netz sollte der Druck an allen großen Abnehmern so groß sein, dass Gasturbinen ohne zusätzliche Brenngasverdichter betrieben werden können (50 bis 60 bar). ▪ Die Gasreinheit (bzgl. der Gaszusammensetzung) von H₂ ist für Gasturbinen eher unkritisch im Vergleich zu anderen Verbrauchern wie Brennstoffzellen. 	Forderungen in Richtung der Gasnetzbetreiber

Kriterien und Designanforderungen für die jeweiligen Teilsysteme	Bemerkungen/besondere Anforderungen
Brenngassystem zwischen Gaseinspeisung, Verdichter, Mischer, Brenngasblock bis Brennstoff-SSV	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Internationale Regelwerke wie ISO 21789 sind zu erfüllen und nationale Standards sind zu berücksichtigen. ▪ Gasübergabestationen für Erdgas, inkl. Mess- und Analysetechnik ▪ Gas-Verdichterstation für Erdgas, einschl. Rohrleitungen bis Verbindungsabschnitt (H₂-Beimischung zum Erdgas im aktuell möglichen Rahmen der Gasnetze soll möglich sein.) ▪ Gasübergabestationen für H₂, inklusive Mess- und Analysetechnik ▪ Gas-Verdichterstation für H₂, einschließlich Rohrleitungen bis Verbindungsabschnitt ▪ Verbindungsabschnitt einschl. Armaturen und Adapterstrecke für Einbau der Mischstation (Blendingstation), Hinweis: für FWL, $p_{\text{Gas}} = \text{konstant}$ ist $V_{\text{H}_2} = 3,3 \times V_{\text{CH}_4}$ ▪ Mischstation mit Mess- und Analysetechnik für Gasgemisch am GT-Eintritt Brenngas-Vorwärmung nach Mischstation 100 % Erdgas bis 100 % H₂ (Achtung bei Vorwärmung: bei H₂ nicht unbedingt nötig, wegen Erwärmung durch Joule-Thompson Effekt) H₂-Vorwärmung über 200 °C führt zu verstärkter H₂-Diffusion, ob trotzdem sinnvoll, muss projektspezifisch geklärt werden 	<p>Auslegung für:</p> <p>100 % Erdgas</p> <p>100 % Erdgas</p> <p>ca. 15 Vol.-% H₂</p> <p>100 % H₂</p> <p>100 % H₂</p> <p>100 % H₂</p> <p>100 % H₂</p>

Kriterien und Designanforderungen für die jeweiligen Teilsysteme	Bemerkungen/besondere Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> Für Brenngasblock geeignete Bemessung, Werkstoffwahl, Verbindungstechnik und Armaturen für 100 % Erdgas bis 100 % H₂-Betrieb (z.B. API 617 und API 941) Errichtung und Genehmigung von Entspannungsleitungen von SS-Ventilgruppen (Erdgas und H₂) des Brenngasblockes und sonstigen Gas-Sicherheitsventilen für 100 % H₂ und 100 % Erdgasbetrieb sowie Mischbetrieb (s auch ISO 21789) Emissionsrechtliche Genehmigung des GTA-Betriebs für Nenn-Feuerungswärmeleistung (FWL) im 100 % H₂ und 100 % Erdgasbetrieb sowie Mischbetrieb (gemäß ISO-Standard). Dazu gehören auch Emissionsgrenzwerte für NO_x, CO und Ruß bez. definierter GT-Leistungsabschnitte zwischen Leerlaufbetrieb und Nennlast. 	<p>100 % H₂</p> <p>Genehmigung mit Ausbreitungsrechnung</p> <p>FWL genehmigungsrechtliche Grundlagen für Standort, ggf. Teil-Genehmigung für Level 1, 2, 3 BlmSchV</p>
Verbrennungssystem und Gasturbine	
<ul style="list-style-type: none"> In Abhängigkeit vom Brennkammer(BK)-Konzept – Silo-BK oder Can/Ring-BK – sind im baulichen Konzept für den Bereich Verdichter-Austritt-Turbinen-Eintritt unterschiedliche Anforderungen zu erfüllen. Für Level 1 (Erdgas mit H₂-FWL-Anteil bis 6 %) sind Brenner vorzusehen, die im Rahmen eines Upgrades für Level 2 (ca. 6 % bis ca. 25 % H₂-FWL-Anteil) ohne wesentliche Veränderung der BK (Can-, Ring- oder Silo-BK) gegen eine neue Brennergeneration austauschbar sind. 	

Kriterien und Designanforderungen für die jeweiligen Teilsysteme	Bemerkungen/besondere Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Level 3 (ab ca. 25 % H₂-FWL) mit erwarteter neuer Brennertechnologie für auszutauschende, vergrößerte BK Cans oder Ring-BK erfordert wahrscheinlich einen erweiterten radialen Einbauraum. ▪ Für Level 3 Austausch der Brenner in neuer Verbrennungstechnologie, ggf. Austausch der BK gegen vergrößerte BK-Version mit angepasstem Kühlkonzept ▪ Apparatechnik (Armaturen, Rohrleitungen, Filter) für 100 % Erdgas – 100 % H₂-Betrieb ▪ Flammwächter geeignet für 100 % Erdgas – 100 % H₂ (abhängig vom Readiness-Level) ▪ Betrieb von 100 % Erdgas bis 100 % H₂ ohne Einschränkungen des Lastbereiches, im Vergleich zum Lastbereich mit Erdgas, möglich; insbesondere des, an Bedeutung gewinnenden, unteren Lastbereichs ▪ Die Heißgaskomponenten für H₂-Betrieb sind so auszulegen, dass die Lebensdauer nicht beeinträchtigt wird – im Vergleich zum Betrieb mit Erdgas. <p>Nur optional:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorbereitung primärer Begrenzung der Schadstoffemissionen (CO, NO_x) ▪ Wasser- oder Dampfinjektion inkl. verfahrenstechnischer Infrastruktur als möglicher Zwischenschritt im Levelbereich 3 bis zur Dry-Low-NO_x(DLN)-Verbrennungstechnologie bei hohem H₂-Anteil bis 100 % 	<p>100 % H₂</p> <p>100 % H₂</p> <p>100 % H₂</p>

Kriterien und Designanforderungen für die jeweiligen Teilsysteme	Bemerkungen/ besondere Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nachrüstbarkeit einer schaltbaren Kupplung zwischen Gasturbine und Generator für den Fall erforderlicher, ergänzender Netzstabilisierung ohne Gasturbinenbetrieb; Konzept hat Auswirkung auf die Länge von Wellenstrang und Lagerung 	
Abgassystem einschließlich Abhitzedampferzeuger	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anordnung eines Katalysators im optimalen Temperaturbereich des Abhitzedampferzeugers, vorzugsweise hinter Turbine, inklusive seiner verfahrenstechnischen Infrastruktur ▪ NH₃-(auch Ammoniakwasser oder Harnstofflösung) Lager für mögliche erhöhte NO_x-Konzentration im Levelbereich 2 und 3 hinreichend dimensionieren und für Maximalkapazität genehmigen lassen ▪ Bauliche/räumliche Voraussetzungen für Erweiterung des Katalysators im Falle erhöhter NO_x-Konzentration im Levelbereich 2 und 3 ▪ Auslegung der Wärmeübertragerflächen und des Wasser-/Dampf-Kreislaufs für 100 % H₂- und 100 % Erdgas-Betrieb ohne Betriebseinschränkungen. <p>Nur optional:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bypass am AH-DE für niedrigen Teillastbetrieb, oder nur Kanalstück im Rauchgaskanal für nachträglichen Einbau von Umschaltklappen für Bypass vorsehen. Durch einen Bypass können die Startzeiten der GT deutlich reduziert werden. 	<p>Genehmigung durch Behörde für Stufen L2 und L3, ggf. mit Störfallanalyse</p>

Kriterien und Designanforderungen für die jeweiligen Teilsysteme	Bemerkungen/ besondere Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beachtung der Eignung/ Performance nichtmetallischer Werkstoffe für erhöhten Wasserdampfgehalt im Abgas in Verbindung mit lastflexiblem Betrieb (z.B. Kompensatoren) ▪ Beachtung der erhöhten Wasserdampfbeladung insbesondere am kalten Ende (Säuretaupunkt des Abgasstroms) 	
Leittechnik und Maschinenschutz	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geeignetes Gasturbinen-Setting/-Einstellung (konstante Feuerungswärmeleistung (FWL) und konstanter Verdichter-Nennmassestrom bezüglich Betriebsgenehmigung) Angepasste Überwachung von Temperaturungleichförmigkeit in Gasturbinen-Meridianströmung Geeignetes Spülkonzept für den Abhitzedampferzeuger für Anfahren der GTA (Inertgas) für 100 % Erdgas bis 100 % H₂ ▪ Schwankungen im H₂-Anteil im Brenngas müssen erkannt werden und die Regelung der GT muss das Regelverhalten automatisch anpassen. 	<p>Schutz vor Überfeuerung und lokaler thermo-mechanischer Überlastung in Gasturbinen</p> <p>FWL ist genehmigungsrechtliche Grundlage (BlmSchV)</p>
Brand- und Explosionsschutz	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gasdichte Absperrung/Absperrbarkeit in allen Betriebszuständen der GTA (Verhinderung H₂-Schlupf) ▪ Technisch dichte Ausführung aller Verbindungen im H₂-System ▪ Spülung des Abhitzedampferzeugers beim Anfahren der GTA (Inertgas) 	

Kriterien und Designanforderungen für die jeweiligen Teilsysteme	Bemerkungen/ besondere Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dem Explosionsschutz-Konzept angepasste Sensorik und Aktorik ▪ Anpassung Gebäude-Lüftungstechnik ▪ Anpassung des gesamten Explosionsschutz-Konzepts <p>Genereller Hinweis: Aufgrund der deutlich geringeren Dichte von H₂ gegenüber Erdgas müssen Betrachtungen zur Gasverteilung bei Leckagen neu bewertet werden; siehe auch ISOTR15916:2000 Basic Considerations for the Safety of Hydrogen Systems</p>	
Umrüstung bestehender Anlagen	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bis ca. 3 % H₂ FWL ist in vielen Fällen nur eine marginale bzw. keine Umrüstung nötig. ▪ Bis 6 % H₂ FWL ist eine Umrüstung im Normalfall problemlos möglich: <ul style="list-style-type: none"> - Mit wenigen Ausnahmen können aktuelle Brenner einen H₂-Anteil bis max. 6 % FWL verarbeiten. - NO_x-Emissionen können höchstwahrscheinlich durch Tuning eingehalten werden, da schon ein geringer H₂-Anteil die Verbrennungseigenschaften positiv beeinflusst. - Entscheidend ist aber immer die spezifische Maschinenkonfiguration, diese muss individuell geprüft werden (dieser Hinweis ist vor allem in Richtung Politik nötig). 	<p>Achtung Änderung der Genehmigung ggf. nötig.</p> <p>Achtung Änderung der Genehmigung ggf. nötig</p>

Kriterien und Designanforderungen für die jeweiligen Teilsysteme	Bemerkungen/ besondere Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Von 6 bis 25 % H₂ FWL ist eine Umrüstung in den allermeisten Fällen technisch möglich. ▪ Ab 25 % H₂ FWL ist eine Umrüstung ggf. nur mit sehr hohem Aufwand möglich; es muss eine neue Brennertechnologie zum Einsatz kommen. ▪ Nachrüstung einer Überwachung der Verbrennungspulsationen und eines automatischen Regelungskonzepts für die Verbrennungsstabilität wird als notwendig angesehen. ▪ Explosionsschutz-Konzept ist bei der Beimischung von H₂ in das Brenngas zu prüfen. ▪ Abhitzedampferzeuger ist auf Gasfallen im oberen Bereich zu untersuchen und ggf. zu optimieren. ▪ Einbau eines entsprechend großen SCR(Selective Catalytic Reaction)-Katalysators stellt große Anforderungen an die baulichen Randbedingungen und einen entsprechenden Umbau des gesamten Abhitzedampferzeugers; evtl. können alternative Möglichkeiten zur NO_x-Minderung zum Einsatz kommen, z.B. bewährte Wasser-/Dampfeindüsung. ▪ Bei der Festlegung der NO_x-Grenzwerte für die H₂-Verbrennung sind die technischen Machbarkeiten bei der Umrüstung von Bestandsanlagen unbedingt zu berücksichtigen. 	
Genehmigungsverfahren, Emissionen etc.	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei der 100 % H₂-Verbrennung ist mit einer vermehrten Wasserdampfbeladung des Rauchgases zu rechnen. Aufgrund dieses erhöhten Wasserdampf- 	

Kriterien und Designanforderungen für die jeweiligen Teilsysteme	Bemerkungen/besondere Anforderungen
<p>anteils bringt die Normalisierung zu NO_x trocken einen Nachteil bei H₂-Verbrennung – dieser Fakt sollte bei der Festlegung der Emissionsgrenzwerte berücksichtigt werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> Das Marktmodell muss dem erwarteten Betriebsregime der H₂-Gasturbinen angepasst sein. Damit die Back-up-Kapazität in Form der H₂-befeuerter GT in einem zukünftigen Energiesystem rechtzeitig zur Verfügung steht, sind Investitionsanreize zeitnah erforderlich. 	

5 Zusammenfassung

Die aktuelle Erkenntnislage zur Realisierung von H₂-Readiness in neuen und bestehenden Gasturbinenanlagen lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Das Design von H₂-fähigen GTA kann sich weitestgehend an der existierenden Gasturbinentechnologie orientieren.
- Es ist nicht notwendig, für die H₂-Feuerung vollständig neue Gasturbinen zu konstruieren und herzustellen.
- Eine besondere Aufmerksamkeit erfordert jedoch die Modifikation des Verbrennungssystems sowie mehrerer Hilfseinrichtungen für die partielle und insbesondere vollständige H₂-Feuerung. Im Fokus stehen dabei unter anderem Brenner, Brennkammer, Werkstoffe, Dichtungen, Brandschutz, Explosionsschutz, Monitoring- und Regelungs-Einrichtungen für Verbrennung etc.
- Ein Upgrading bewährter Designkonzepte ist geeignet, in der Transformation nicht nur umfangreichen Kapitaleinsatz zu vermeiden, sondern auch viel Zeit in der Umstellung großer Flotten von existierenden Gasturbinen auf den H₂-Betrieb einzusparen.

Über den vgbe energy e.V.

Der vgbe energy e.V. ist der technische Verband der Energieanlagenbetreiber und das internationale Kompetenzzentrum für die Erzeugung und Speicherung von Elektrizität, Wärme, Wasserstoff und darauf aufbauenden Energieträgern sowie Sektorkopplung. Der vgbe energy koordiniert und unterstützt seine Mitglieder in Fragen von Standardisierung, Forschung und Entwicklung, beim Austausch und Erhalt von technischem Know-how, beim Zugang zu Fachwissen sowie Ausbildung und Schulung. Die derzeit 436 Mitgliedsunternehmen des vgbe aus 34 Ländern verfügen über eine installierte Anlagenkapazität von über 300.000 MW.

Essen, Januar 2023

Autoren

Dipl.-Ing. Armin Ehret,	RheinEnergie AG
Dr.-Ing. E.h. Manfred Freimark	Power Plant and Environmental Technologies Senior Expert Engineer Gas Turbines Vorsitzender vgbe TC Gasturbinen
Prof. Dr.-Ing. Uwe Gampe	Technische Universität Dresden
Dipl.-Ing. Jens Walter	BASF SE

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Thomas Eck Leiter Kraftwerkstechnologien und Umwelttechnik +49 201 8128 209 thomas.eck@vgbe.energy	Sebastian Zimmerling Wasserstoff, Brand- und Explosionsschutz +49 201 8128 330 sebastian.zimmerling@vgbe.energy
---	---

