

Umbau und Erweiterung eines Heißgas-Prüfstandes für Tests von Brennstoffzellen und elektrischen Turboladern

Conversion and expansion of a hot gas test bench for testing fuel cells and electric turbochargers

S. Weigl^{a,1}, T. Hauck^{a,2} und F. Schäfer^{b,3}

a UTF GmbH
Erzstraße 15, 09618 Brand-Erbisdorf, Deutschland

b SCF-automation GmbH
Emmy-Noether-Ring 18, 85716 Unterschleißheim, Deutschland

Kurzfassung: Ein Heißgasprüfstand zum Test von Abgasturboladern kann für vielfältige Anwendungen erweitert und umgerüstet werden. Der Vortrag befasst sich mit der Möglichkeit der Umrüstung des Heißgas-Erzeugers auf Wasserstoffbetrieb. Somit können Kohlenstoff-Emissionen im Prüfbetrieb reduziert werden.

Alternativ kann der Heißprüfstand mit überschaubarem Aufwand als Brennstoff-Zellen-Prüfstand umgebaut werden. Damit lassen sich dann Brennstoffzellen, BSZ-Befeuchter-Module und elektrische Turbolader getestet werden

Abstract: A hot gas test stand for testing exhaust gas turbochargers can be expanded and converted for a wide range of applications. The lecture deals with the possibility of converting the hot gas generator to hydrogen operation. This means that carbon emissions can be reduced during testing.

Alternatively, the hot test bench can be converted into a fuel cell test bench with reasonable effort. This can then be used to test fuel cells, FC humidifier modules and electric turbochargers.

Schlagworte: Abgasturbolader; Prüfstand; E-Turbolader; Brennstoffzelle; Wasserstoff

Key Words: turbocharger; Test bench; e-turbocharger; fuel cell; hydrogen

¹ E-mail: sebastian.weigl@utf-bed.de

² E-mail: thomas.hauck@utf-bed.de

³ E-mail: frank.schaefer@scf-automation.de

1 Einleitung

Mit der zunehmenden Substitution des klassischen Verbrennungsmotors der flüssige fossile Brennstoffe nutzt, durch alternative Antriebe wie das Nutzen eines elektrischer Motors oder einer Brennstoffzelle im Mobilitätssektor, ergeben sich bei klassischen Turbolader-Prüfständen freie Ressourcen die geschickt genutzt werden können.

Der vorliegende Beitrag soll Informationen und Ideen liefern um in eine vorurteilsfreie Diskussion einzusteigen, wie zukünftig diese Reserven eines Abgasturbolader-Heißgasprüfstandes HGG alternativ und nachhaltig genutzt werden können.

2 Klassischer HGG-Prüfstand ohne Erdgas

Erdgas ist ein flexibel einsetzbarer Brennstoff und eine hochwertige Ressource. Die Nutzung von Erdgas in der Grundstoff-Industrie, in klassischen Industrieprozessen und im privaten Umfeld hat in den letzten Jahrzehnten einen erheblichen Beitrag zur positiven gesellschaftlichen Entwicklung beigetragen.

Schon seit Jahren wird die Verbrennung von Erdgas kritisch diskutiert. Einerseits entstehen bei Erdgasförderung und Transport technisch bedingte und auch ungewollte Leckagen. Tritt Erdgas dadurch direkt in die Atmosphäre aus, so ist es im Vergleich zum Kohlendioxid etwa 25-mal schädlicher für das Klima zu bewerten.

Bei der Verbrennung von Erdgas und Luft entsteht zwar augenscheinlich weniger Kohlendioxid, doch gepaart mit den Abwärmeverlusten und Wasserdampfemissionen ist es keine klimaneutrale Angelegenheit.

Spätestens seit dem Beginn des Ukraine-Krieges im Februar 2022 zeigt sich für Deutschland und Europa, dass die ungestörte und preiswerte Lieferung von Erdgas aus Russland mittelfristig gestört bleiben wird. Das hat zu erheblichen Preissteigerungen in der Brennstoff-Beschaffung geführt. Auch ist davon auszugehen, dass sich die Versorgungssicherheit und Versorgungsqualität in den nächsten Jahren verändern wird.

Viele Nutzer von Erdgas prüfen deshalb Alternativen um Ihre Heißgas Prüfstände weiterhin zu nutzen. Eine weit verbreitete Variante des Heißgas-Prüfstandes ist im folgenden Bild dargestellt. Kern der Anlage ist eine Brennkammer mit Brennstoff- und Brennluftversorgung. Die Druckluft kommt dabei aus einem Haustechnik-System. Das Heißgas versorgt die Turbine des Prüflings und wird über diesen entspannt. Der Kompressor des ATL Prüflings saugt sich seine Luft „selber“ über eine Ansaugluftkonditionierung (SACU). Mit einer Gegendruckeinheit (CBPU) wird der Kompressor-Gegendruck eingestellt. Da Turbine und Kompressor über eine Welle verbunden sind, ergeben sich Kennfelder. Eine Kennfeld-Erweiterung mittels

Closed-Loop-Unit ist weit verbreitet, aber hier nicht Gegenstand der Betrachtungen.

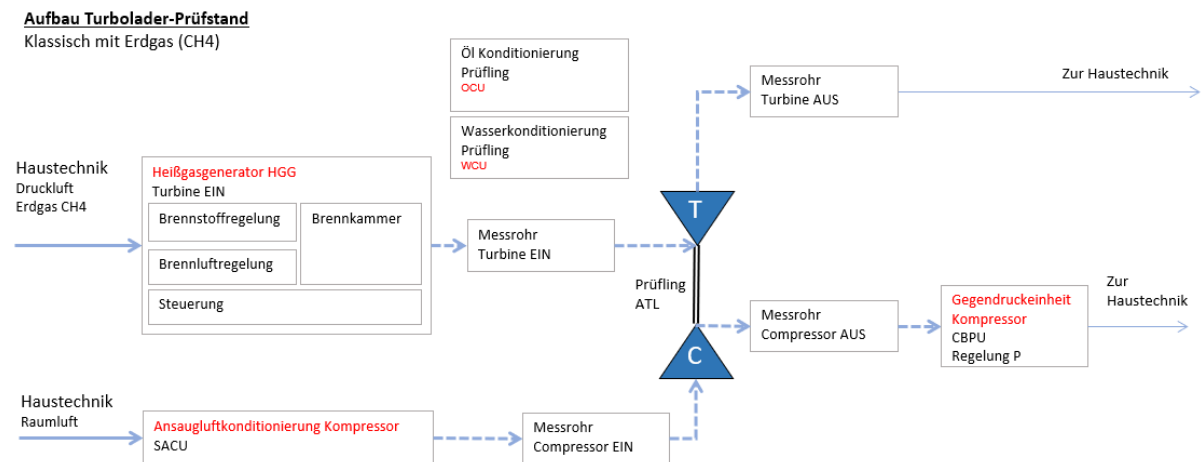


Abbildung 1: Darstellung klassischer HGG Prüfstand

Eine weitere nützliche und leicht nachrüstbare Erweiterung ist ein elektrischer Zusatzheizer. Dieser wird oft im Bypass zur Brennkammer betrieben und kann zur Erweiterung des Betriebsbereiches der Brennkammer eingesetzt werden.

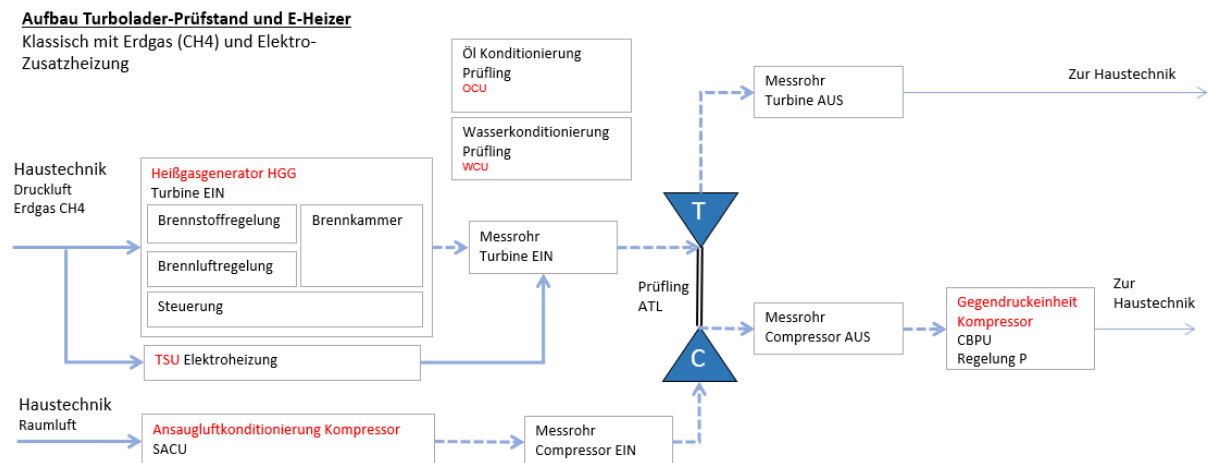


Abbildung 2: Darstellung HGG Prüfstand mit E-Heizung Erweiterung

In Einzelfällen wird der E-Heizer auch für Temperatur-Anhebungen in der Kompressor Einströmung verwendet, bzw. die Thermo-Shock-Unit TSU wird generell als p1-control für den Prüfling verwendet.

Dem ganzen Aufbau übergeordnet ist eine zentrale Steuerung, Elemente zur Sicherheit und div. Messdatenerfassungen.

2.1 Nutzung von alternativen klassischen gasförmigen Brennstoffen

Die Heißgasprüfstände können generell auf weitere Brennstoffe umgerüstet werden. Häufig muss dazu nur die Brennstoffversorgung angepasst werden.

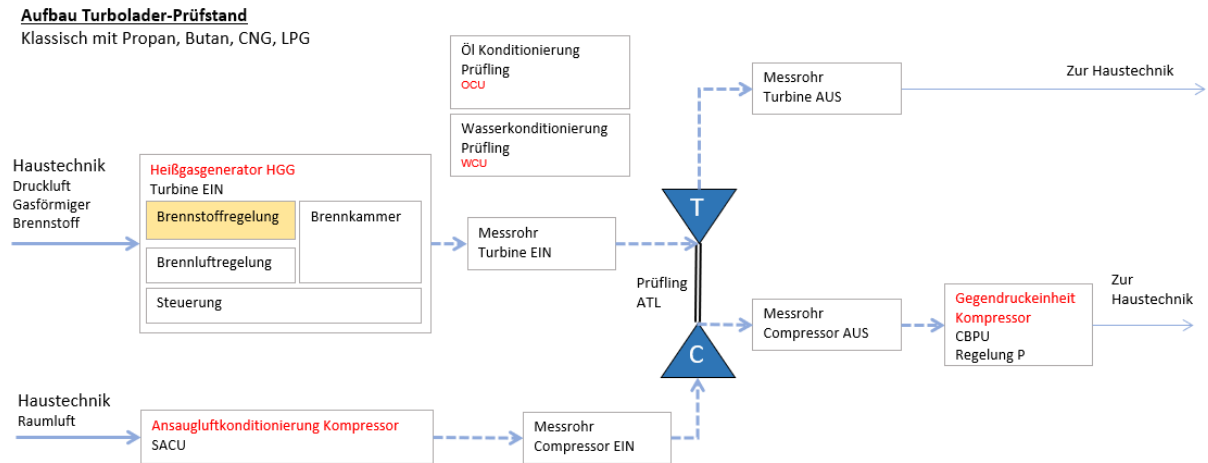


Abbildung 3: Darstellung einer HGG Umnutzung von Erdgas zu alternativem gasförmigem Brennstoff

Der Aufwand ist überschaubar und es können reine Reihe von alternativen Brennstoffen (z.B. LPG, CNG) genutzt werden. Es bleibt anzumerken, dass generell der Brennstoff gasförmig sein muss. Die Abgaswerte können differieren.

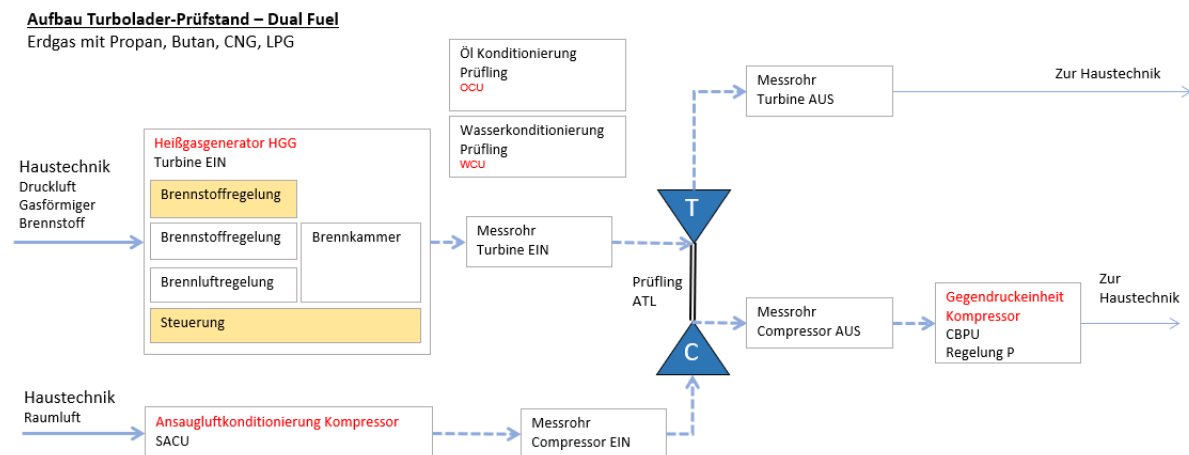


Abbildung 4: Darstellung einer HGG Nutzung von Erdgas und einem alternativen gasförmigen Brennstoff

Eleganter ist eine zweite Brennstoffstrecke neben die bestehende zu bauen. Das ist dahingehend interessant, dass je nach Verfügbarkeit die Brennstoffe umgeschaltet werden können. Hierbei ist allerdings ein erheblicher apparativer Zusatzaufwand notwendig. Auch muss hier an Sicherheitstechnik

einiges erweitert werden, wie zum Beispiel je Brennstoff eine sichere Abschaltung im Not-Aus-Fall.

Daneben sind eine Reihe an Arbeiten zur Erweiterung der Dokumentation und der Sicherheitsbetrachtungen zu erwarten.

2.2 Nutzung von Wasserstoff als Brennstoff

Zukünftig wird Wasserstoff als Brennstoff in vielen Industriezweigen interessant werden. In Mitteldeutschland gibt es bereits erste Initiativen Teile der Erdgasversorgung auf Wasserstoff umzustellen.

Gerade mit dem Fokus des Kohlendioxid „neutralen“ Herstellens eines PKW werden Fertigungsprozesse (z.B. Lackierstraßen) auf einen Betrieb mit Wasserstoff-Beheizung umgerüstet.

Im Vergleich dazu sind die Emissionen eines HGG Prüfstandes übers Jahr verschwindend gering. Sollte aber ein kompletter Standort vom Erdgasnetz getrennt werden, ist auch hier eine Möglichkeit des Weiterbetriebes des Prüfstandes generell möglich.

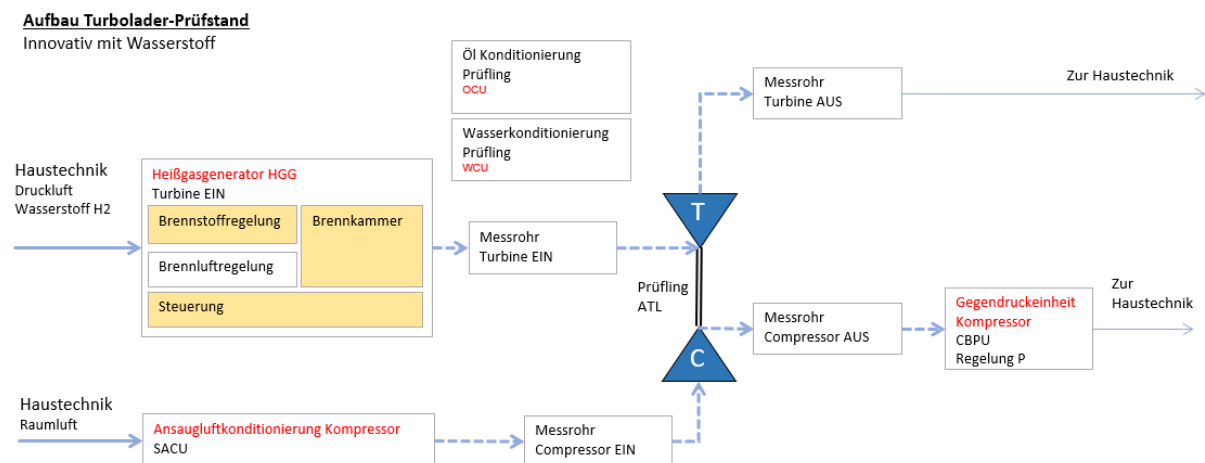


Abbildung 5: Darstellung einer HGG Umrüstung von Erdgas zu Wasserstoff

Die Versuchsanlage kann auf Wasserstoff-Betrieb umgestellt werden. Dazu muss zuerst die Brennstoff-Versorgung umgestellt werden. Wenn man die technischen Daten vergleicht, sieht man in der nachfolgenden Tabelle, dass die Stoffwerte abweichen.

Die Abweichung in der Dichte führt dazu, dass Umbauten am Brenner selbst erfolgen müssen. Nennweiten werden dazu angepasst.

Die Flammendetektion erfolgt zukünftig optisch, da die bisher verwendeten Ionisationselektroden nicht geeignet sind. Diese Änderungen führen zu Erweiterungen am Druckkörper. Zusätzliche Sensoren müssen in die Steuerung eingebunden werden.

Tabelle 1: Übersicht der Eigenschaften der Brennstoffe

<u>Bezeichnung</u>	<u>Einheit</u>	<u>Erdgas</u>	<u>Wasserstoff</u>
Zusammensetzung		CH ₄ + div. Bestandteile	H ₂
Dichte	[kg/m ³] bei 273 K	0,70 ... 0,84	0,0899
Brennwert	[kWh/kg]	Ca. 13 ... 14	39,4
Unter Explosionsgrenze	[Vol.-%] in Luft	4,4	4
Obere Explosionsgrenze	[Vol.-%] in Luft	16,5	77

Da Brennwert und Dichte sich gegenläufig verändern, hat das positive Auswirkungen auf die Änderungen.

Die größten Abweichungen sind in der Reaktionsfreudigkeit von Wasserstoff-Luft Gemischen. Während zu viel Erdgas in Luft sich nicht zünden lässt, sind Wasserstoff-Luft Gemische quasi fast immer zündbar.

Was dahin gehend auch noch kritisch ist, da man Wasserstoff nicht riechen kann. Wobei auch Erdgas an vielen Verwendungsstellen nicht odoriert genutzt wird.

Das hat berechtigt dazu geführt, dass ein allgemeiner Respekt vor Wasserstoff existiert.

Wer aber schon jetzt eine Raumlüftung verwendet, die mögliche Brennstoff Leckagen auf Untere Explosionsgrenze verdünnt, kann wahrscheinlich bestehende Raumlüft-Anlagen gering modifiziert weiter nutzen, da die untere Explosionsgrenze bei beiden Gasen ähnlich ist. Es müssen lediglich die Gassensoren getauscht werden.

Vereinfacht kann gesagt werden, dass ein Prüfraum in dem jetzt ein Erdgasbrenner sicher betrieben wird, kann zukünftig auch einen Prüfstand aufnehmen der Wasserstoff verwendet.

Bei guter und sicherer Installation, geeigneten Wartungskonzepten und modifizierten Sicherheitselementen sollte die Nutzung von Wasserstoff eine sichere Angelegenheit sein. Die Elemente und das Wissen sind seit Jahrzehnten Stand der Technik.

Es wird aber so kommen, dass immer der Erste an einem Standort die meisten und höchsten Hürden überspringen muss. Oft sind das die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen.

3 Umnutzung des HGG-Prüfstandes für elektrische Turbolader

Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist, dass man einen bestehenden HGG Prüfstand zum Testen von elektrischen Turboladern nutzt. In dem hier vorliegenden Fall wird darauf hingewiesen, dass die zusätzlichen elektronischen Bauteile an den elektrischen Turboladern und E-Verdichtern verschiedene Zusatzaggregate am Prüfstand benötigen. Dieses muss separat betrachtet werden und ist nicht Teil der vorliegenden Abhandlung.

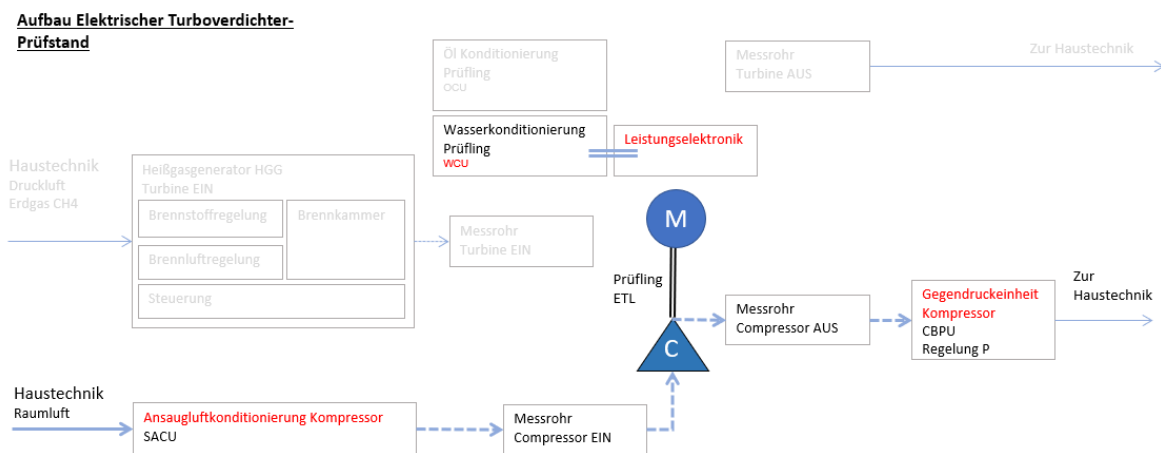


Abbildung 6: der klassische Turbolader Prüfstand kann oft als Prüfstand für E-Kompressoren genutzt werden

Wesentlich ist der Schritt, dass erkannt wird, welches Potential hier vorliegt. Mit einer Ansaugluftkonditionierung und der bestehenden Gegendruckeinheit kann ich viele elektrische Verdichter aus dem Automotive Bereich bereits vermessen. Dafür sind keine Zusatzaufwendungen notwendig.

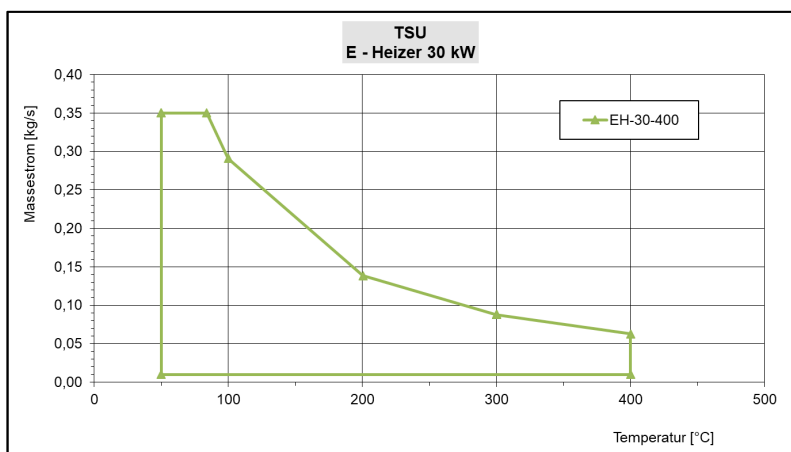


Abbildung 7: Kennfelder von eines häufig verwendeten TSU Heizers

Ist ein elektrischer Zusatzheizer (TSU Heizer) installiert. Ergeben sich weitere Anwendungsfälle. Wie in der oben gezeigten Grafik zu sehen ist, kann

man mit dem E-Heizer 150g/s warme Druckluft bei 150 °C zur Verfügung stellen.

Aufbau Elektro-Turbolader-Prüfstand und E-Heizer
Mit TSU Elektro-Zusatzheizung

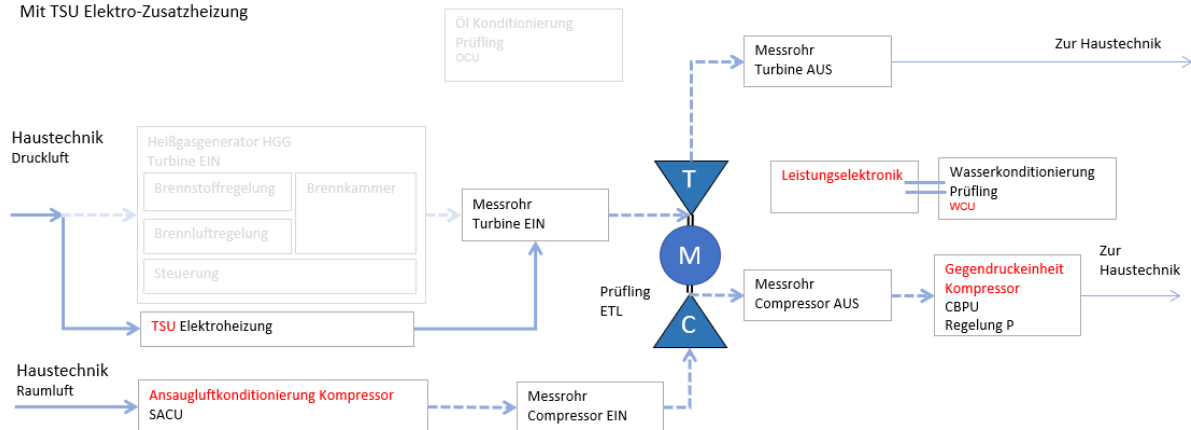


Abbildung 8: Ohne Befeuchtung können HGG Prüfstände auch eine Reihe von elektrischen Turboladern vermessen

Damit können elektrische Turbolader aus dem Segment der Brennstoffzelle in vielen Betriebspunkten bereits vermessen werden. In dem nachfolgenden Fließbild ist zu sehen, dass eine zusätzliche Befeuchtung ein zusätzlich weites Feld an Möglichkeiten eröffnet.

Aufbau Elektro-Turbolader-Prüfstand und E-Heizer
Mit TSU Elektro-Zusatzheizung und Befeuchtung

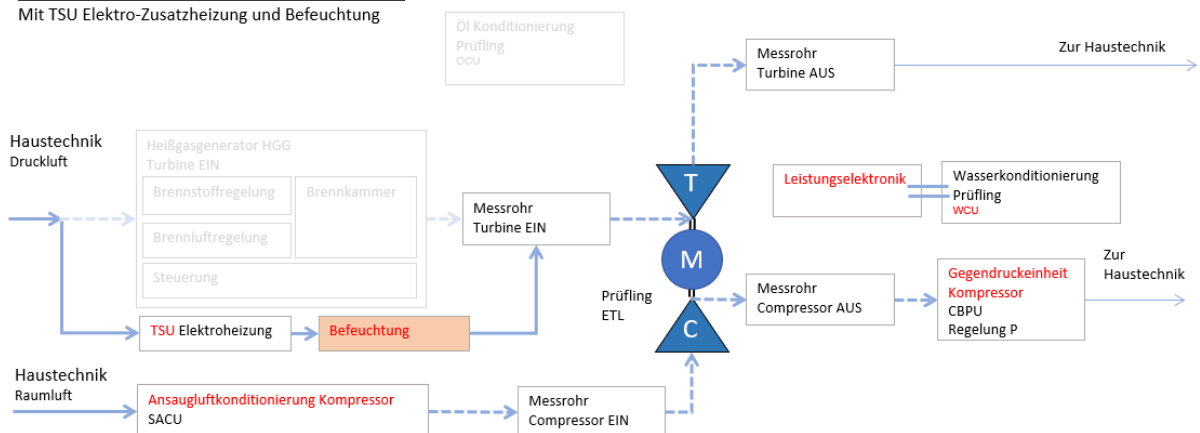


Abbildung 9: Mit zusätzlich installierter Befeuchtung können HGG Prüfstände Ausgangszustände aus einer Brennstoffzelle simulieren

Mit feuchter warmer Luft bei höherem Druck simuliert die Anlage dem Anwender Ausgangsbedingungen aus einer Brennstoffzelle. Je nach Verschaltung kann ich dynamische oder statische Untersuchungen damit durchführen.

Die Umbauten und Erweiterungen für eine Befeuchtung sind überschaubar. Je nach Größe im Betriebsraum kann sogar die Brennkammer stehen bleiben.

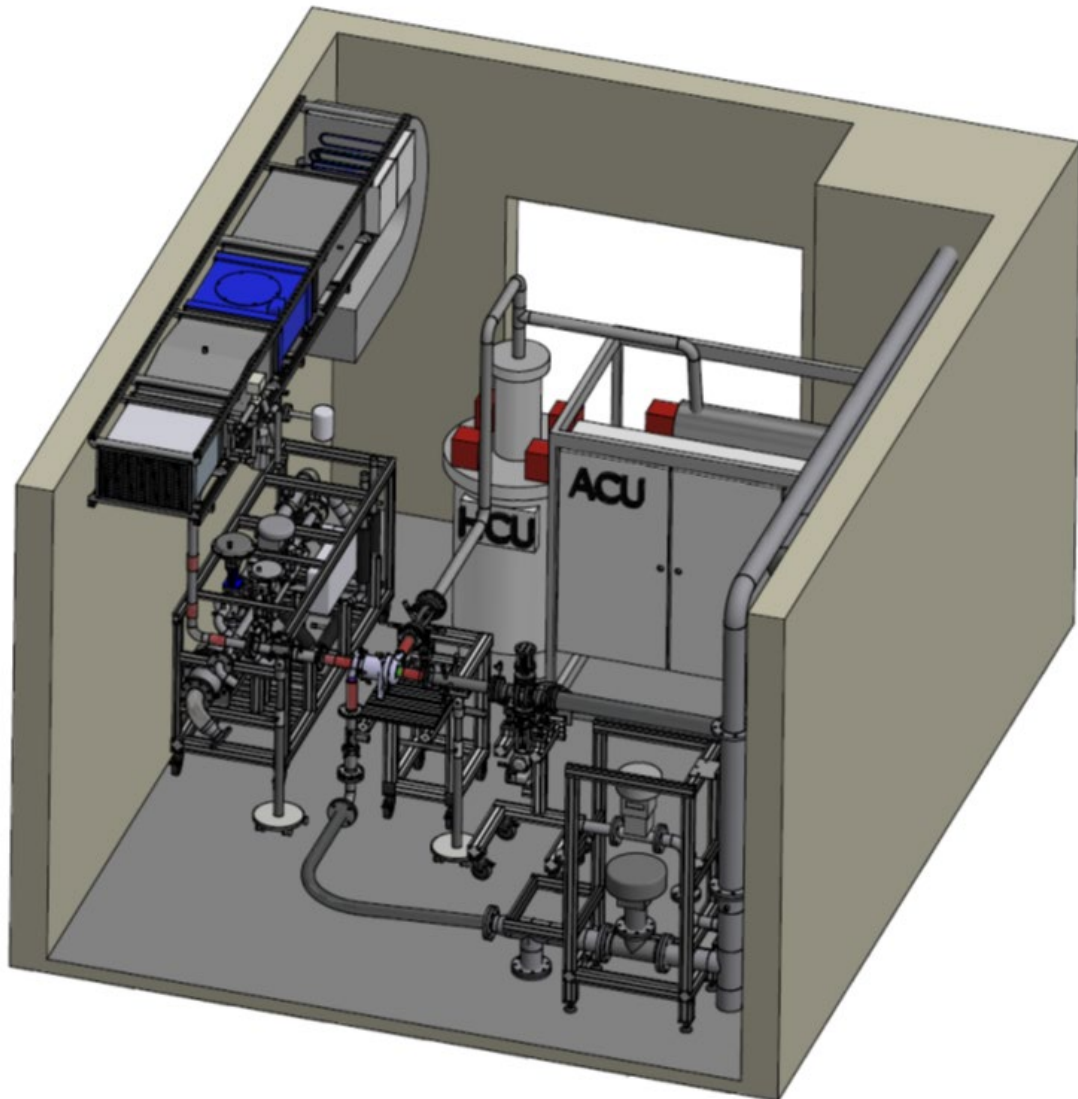


Abbildung 10: mit modifizierter Anordnung kann aus einem HGG Prüfstand ein Brennstoffzellen-ETL Prüfstand werden

Ist weniger Platz vorhanden, ist es empfehlenswert die Brennkammer zu demontieren und ggf. umzulagern. In der Abbildung ist zu sehen, dass die Luftversorgung mit Heizer (ACU) quer angeordnet wird. Die Befeuchtung HCU wird modular daneben gestellt.

Die Ansaugkonditionierung (SACU) hängt weiterhin an der Decke und wird genauso wie die Kompressor-Gegendruck-Einheit (CBPU) weiter genutzt. Mobile Zusatzeinheiten wie eine Closed-Loop oder zusätzliche Konditioniereinheiten können seitlich angeordnet werden.

Der Prüfling steht weiterhin zentral im Raum und kann gut aus dem Bedienraum gesehen werden.

4 Konversion eines HGG-Prüfstandes zum multi funktionalen Brennstoffzellen-Prüfstandes

Wer seinen Prüfstand für den ETL Test umgerüstet hat, kann auch den kleinen Schritt weiter gehen und das System zu einen Brennstoffzellen-Prüfstand erweitern.

In den nachfolgenden beiden Fließbildern sind die Varianten für einen Stack- und einen System-Prüfstand dargestellt.

Aufbau Elektro-Turbolader-Prüfstand und E-Heizer

Zur Simulation für einen Stack

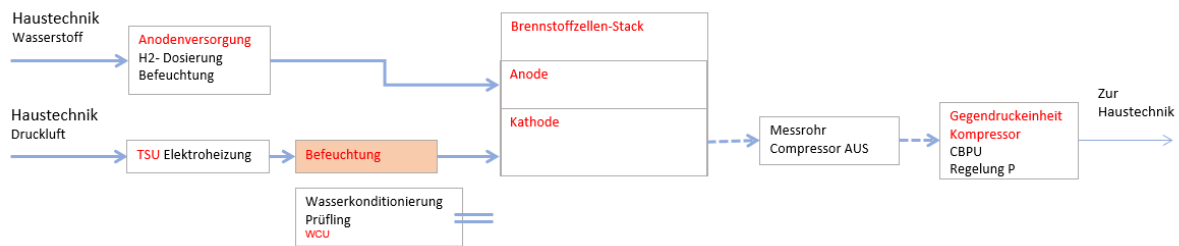


Abbildung 11: mit Anodenversorgung wird ein ETL-Prüfstand zum BSZ-Stack Prüfstand

An der Stelle ist darauf hinzuweisen, dass natürlich für eine Brennstoffzelle BSZ verschiedene elektrische Schnittstellen geschaffen werden müssen, die so am ATL Prüfstand nicht vorhanden sind Das betrifft vor allem elektrische Lasten. Dafür sind etablierte Lieferanten am Markt die partnerschaftlich eingebunden werden.

Aufbau Elektro-Turbolader-Prüfstand und E-Heizer

Zur Simulation für Brennstoffzellen-System

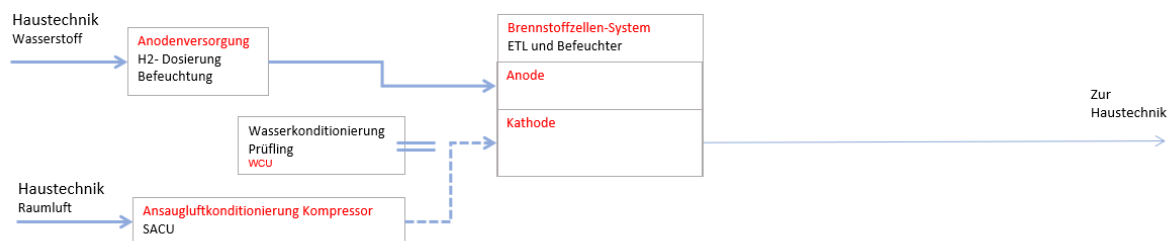


Abbildung 12: mit Wasserstoff-Versorgung und bestehender SACU können dann auch BSZ-Systeme getestet werden

In der Betrachtung zu alternativen Brennstoffen wurde ausgeführt, dass in den vorhandenen Prüfzellen eine Wasserstoff-Nutzung problemlos möglich sein sollte.

Das Modul Anodenversorgung kann als Baustein integriert werden. Wobei je nach Anwendungsfall eine Befeuchtung und Schadgasdosierung integriert wird, um einen BSZ-Stack zu versorgen. Die Kathode wird wie beim ETL aus einem Gemisch mit warmer, feuchter Druckluft versorgt. Somit

simuliert der Prüfstand den Kompressor-Ausgang des ETL als Eingang zum Prüfling BSZ auf der Kathodenseite.

Die Gegendruckeinheit CBPU wird genutzt um in dem Stack einen ausreichenden Gegendruck aufzubauen.

Für die Anwendungen mit einem BSZ-System kann wieder die bestehende Ansaugkonditionierung SACU genutzt werden. Wenn das BSZ-System einen integrierten Lader hat, dann saugt sich der Lader aus der SACU so viel Luft wie er benötigt. Die Wasserstoffversorgung aus dem Modul Anodenversorgung wird dann lediglich im Modus Tanksimulation Wasserstoff gefahren.

An der Stelle ist aber darauf hinzuweisen, dass diese Umbauten zu einem multifunktionalen Brennstoffzellen-Prüfstand mit einem 6 bis 8 wöchigen Stillstand verbunden sind. Der mechanische Umbau, gepaart mit den elektrischen Arbeiten und dem modularen Erweitern der Steuerung ist ein umfangreicher Eingriff. Aber es können erhebliche Ressourcen weiter genutzt werden.

5 Ausblick

Der Beitrag hat nicht den Anspruch auf Lösung aller Probleme am Prüfstand. Er zeigt generelle Tendenzen auf, wie nachhaltig bestehende Systeme effektiv und günstig weiter genutzt werden können.

Es konnte gezeigt werden, wie ein HGG Prüfstand durch geschickte Verschaltung und Erweiterung als vielfältiges Prüfstands-System in Zukunft genutzt werden kann.

Die Zukunft gehört modularen Systemen die in unterschiedlichen Kombinationen weiter genutzt werden können.