

ABSCHLUSSBERICHT MARSHALLPLAN STIPENDIUM

-

Entwicklung einer experimentellen Hochdruckverbrennungsanlage

Dipl. Ing. Ulrich Niemann, Technische Universität Wien

November 2009

Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Projekts wurde eine experimentelle Versuchseinrichtung entwickelt, welche Verbrennungsversuche in einer Gegenstromanlage unter mehrfachem atmosphärischen Druck zulässt. Kraftstoff und Oxidierungsmittel treffen in gasförmigen, laminaren Strömungen aufeinander. Die Einrichtung erlaubt die Erforschung kritischer Bedingungen der Verbrennung zur Ermittlung chemisch-kinetischer Reaktionsparameter. Das Projekt umfasste alle Phasen von der ersten Konzeption bis zur Inbetriebnahme. Alle Tests verliefen zufriedenstellend und erste Versuchsreihen laufen zum Zeitpunkt der Verfassung dieses Berichts an.

1 Einführung

Verbrennungskraftmaschinen sind Wärmekraftmaschinen die durch innere Verbrennung von Kraftstoff mechanische Arbeit verrichten. Praktische Anwendungen sind Verbrennungsmotoren und Turbomaschinen. Diese erreichen nahezu vollständige Verbrennungszustände durch Turbulenzen im Verbrennungsraum, welche zu einer verbesserten Vermischung von Luft und Kraftstoff führen. Die Flussgeschwindigkeit der Edukte spielt dabei eine bedeutende Rolle. Praktisch ist dies zu beobachten, wenn man in eine Kerze bläst. Bei leichtem Blasen wird der Flame mehr Sauerstoff zugeführt, wodurch die Flame stärker brennt. Wird jedoch ein kritischer Wert überschritten, führt dies zu einer Verlöschung der Flamme. In einem Motor wird dieses Phänomen als „quenching“ bezeichnet. Diese Verstärkung der turbulenten Verhältnisse im Verbrennungsraum, kann auftreten wenn sich der Kolben im Verdichtungsstakt in Richtung des oberen Totpunkt bewegt. Es ist von bedeutender Wichtigkeit diese Phänomene gründlich zu untersuchen und zu verstehen, damit durch Simulation dieser Vorgänge sichere und effiziente Verbrennungskraftmaschinen entwickelt werden können. Die Simulation dieser Vorgänge beruht auf zwei Hauptbestandteilen, welche kritische Zustände der Verbrennung beeinflussen. Erstens der strömungsmechanische Teil, welcher sich mit der numerischen Beschreibung von Fluidbewegungen beschäftigt (Computational Fluid Dynamics, CFD). Zweitens chemisch-kinetische Modelle, welche sich mit der Bewegung und Reaktion von Molekülen beschäftigt. Die Arbeit die hier beschrieben wird hat nur chemisch-kinetische Forschung zum Gegenstand. So werden in der experimentellen Verbrennungsforschung sehr komplexe Vorgänge in Teilprobleme heruntergebrochen und getrennt untersucht. Nach Erforschung und erfolgreicher Berechnung dieser Teilprobleme werden diese dann zu größeren oder vollständigen Anwendungen zusammengesetzt und auf ihre Validität überprüft. So werden zur Erforschung der chemisch-kinetischen Reaktionsparameter, zur Beschreibung des Verbrennungsvorgangs von Luft-Kraftstoffgemischen, simplifizierte Experimente ausgeführt, welche dann mit

geringem rechnerischen Aufwand zu simulieren sind. Die Versuchsanordnung die am Department for Mechanical and Aerospace Engineering, UCSD mit großem Erfolg Verwendung findet, ist die Gegenstromverbrennungsanlage. Dieser Brenner ermöglicht die experimentelle Untersuchung von Luft-Kraftstoffgemischen in einem laminaren Strömungsfeld. Diese ein-dimensionalen Versuche sind wichtig für die Entwicklung chemisch-kinetischer Reaktionsmechanismen, wodurch der Vergleich von experimentellen Ergebnissen und numerischen Berechnungen ermöglicht wird. Die Verbrennungseigenschaften, die Gegenstand der Untersuchungen sind, sind Verlöschung, Selbstzündung und Flammenstrukturen in laminaren vorgemischten und nicht-vorgemischten Strömungen. Dabei werden einzelne Kohlenwasserstoffe, reale Mehrkomponentenkraftstoffen (Diesel, Benzin, Kerosin) und Surrogate Kraftstoffe (Mischungen weniger Kohlenwasserstoffe, die Eigenschaften realer Kraftstoffe imitieren) untersucht.

2 Motivation

Momentan haben experimentelle Ergebnisse von Gegenstromverbrennungsanlagen einen großen Anteil an den Erkenntnissen zur Bestimmung der Reaktionsparameter chemisch-kinetischer Mechanismen. Obwohl eine Vielzahl an Gas und Oxidierungsmittelmischungen und unterschiedlichsten Gegebenheiten untersucht werden konnte, so war bisher immer Druck ein limitierende Faktor. War es notwendig den Einfluss von erhöhtem Druck in die Überlegungen einzubeziehen so standen nur experimentelle Apparate wie z.B. Stoßrohr, rapid compression machine oder homogener Reaktor zur Verfügung, welche nur null-dimensionale Untersuchungen (in denen Stofftransport keine Rolle spielt) zulassen.

2.1 Brenner

Die Gegenstromverbrennungsanlage (Englisch: counterflow burner) besteht aus zwei achsensymmetrischen Kanälen deren Auslässe gegeneinander gerichtet sind. Ein Kanal beliefert das Reaktionsfeld mit Kraftstoff, der andere mit Oxidierungsmittel. Das Design welches an der UCSD Verwendung findet, umgibt die Reaktionsströme mit einer konzentrischen Stickstoffummantelung, welcher den ungewollten Einfluss der Umgebung auf die Reaktionszone minimiert. Die Produkte werden durch einen, im Brenner eingebauten, Abgaskanal abgesaugt. Diese Versuchsanordnung ist äußerst effektiv für die Verbrennungsforschung da die Flamme sich entlang der Stagnationsebene, wo beide Ströme aufeinandertreffen, flach ausbildet. Dies erlaubt detaillierte Studien der Flamenstruktur und chemie. Durch mathematische Reduzierung kann das Reaktionsfeld so vereinfacht werden, dass thermodynamische and chemische Eigenschaften sich nur entlang der Symmetrieachse der Kanäle verändern, was den Aufwand zur Modellierung und Simulation dieses Problems, deutlich vereinfacht. Es kann eine Vielzahl von Versuchen mit dieser Anlage untersucht werden. Das Spektrum überspannt vorgemischte, partiell vorgemischte, nicht-vorgemischte, gasförmige, vaporisierte und flüssige Kraftstoffkonfigurationen.

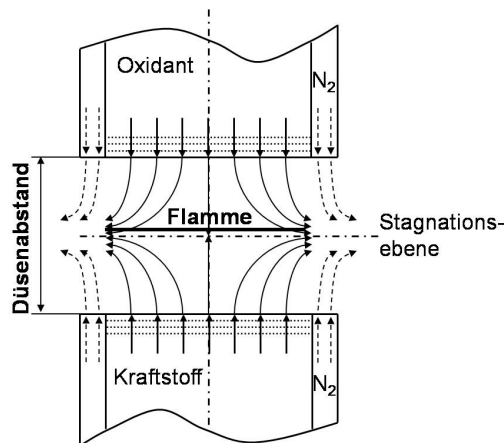


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Strömungsfeldes einer Gegenstromkonfiguration wie es in numerischen und experimentellen Anwendungen vorkommt.

Hohe Turbulenzen oder Flussgeschwindigkeiten in einem Verbrennungsraum führen zu einer Streckung der Flammen, welche signifikanten Einfluss auf den Verbrennungsprozess haben. Der Parameter der Streckungsrate (flame stretch, strainrate) ist eine, Größe die dieses Phänomen beschreibt. Der Wert für die Streckungsrate, ist definiert als der Gradient der Normalkomponente der Flussgeschwindigkeit, welcher sich von Kraftstoffseite zur Oxidationsmittelseite ändert. Die charakteristische Streckungsrate auf der Oxidationsmittelseite a_2 wird durch

$$a_2 = \frac{2|V_2|}{L} \left(1 + \frac{|V_1|\sqrt{\rho_1}}{|V_2|\sqrt{\rho_2}} \right). \quad (1)$$

beschrieben. (ρ_1, ρ_2 sind definiert als die Dichte des Kraftstoff- bzw. Luftstroms; V_1, V_2 als die Flussgeschwindigkeit des Kraftstoff- bzw. Luftstroms)

In einer Gegenstromverbrennungsanlage lässt sich diese Flammenstreckung unter gut kontrollierbaren Gegebenheiten, experimentell für definierte Luft-Kraftstoffgemische untersuchen.

2.2 Ziel

Bisher wurden Versuche in Gegenstromverbrennungsanlagen nur unter atmosphärischem Druck ausgeführt. In den letzten Jahren stieg die Nachfrage nach Verbrennungsexperimenten unter erhöhtem Druck, um experimentell näher an die Realbedingungen in Verbrennungskraftmaschinen zu heranzukommen. So wurde versucht, in einigen wenigen Forschungsinstituten Gegenstrombrenner zu entwickeln die Experimente unter leicht erhöhtem Druck zulassen, dies jedoch auch nur mit stark eingeschränktem Anwendungsbereich.

Um die Effekte von Druck auf die Verbrennung von Kraftstoffen näher zu untersuchen, hat die U.S. Armee das Department for Mechanical and Aerospace Engineering damit beauftragt eine Hochdruckverbrennungsanlage die erstmals die Untersuchung von Verbrennungsprozessen, in denen der

Stofftransport eine Rolle spielt, unter bis zu 25fachem atmosphärischen Druck zu entwickeln. Die Anlage soll flexibel ausgelegt werden, um Experimente unter verschiedensten Gegebenheiten zu gestatten. Langfristig werden die folgenden Einsatzmöglichkeiten angestrebt.

- Vorgemischte, nicht-vorgemischte, partiell vorgemischte Luft-Kraftstoffgemische
- Gasförmige, flüssige Kraftstoffe
- Flammentemperaturmessungen
- Verlöschungs-, Selbstzündungsversuche
- Flamenstrukturprofile mittels Gaschromatograph
- Optischer Zugang für Laser-diagnostik
- Erweiterbarkeit für unterschiedliche Brennertypen (Gleichstrombrenner)

3 Konzept und Berechnungen

Um den zuvor genannten Ansprüchen gerecht zu werden, wurde ein Konzept für die Anlage erstellt, die aus fünf Hauptteilen besteht.

1. Brenner
2. Gaszufuhr- und regelungsanlage
3. Druckkammer
4. Kühl- und Druckwasserversorgung
5. Kontroll-, Kalibrier- und Messeinrichtung

3.1 Brenner

Die Brennertyp der unter erhöhtem Druck zum Einsatz kommen soll ist ein Gegenstrombrenner. Das grundlegende Design ist sehr ähnlich dem Brenner der unter atmosphärischem Druck Verwendung findet. Allerdings mussten kleine Veränderungen vorgenommen werden um auch unter Druck präzise, effizient und ökonomisch Experimente ausführen zu können.

Möchte man die gleichen Flussgeschwindigkeiten der Gase unter Druck wie atmosphärisch untersuchen, so erhöht sich der Volumenstrom aufgrund der Relation die durch die ideale Gasgleichung

$$pv = RT$$

gegeben ist, bei isothermer Kompression ($R, T = \text{konstant}$), direkt proportional zum Anstieg des Druckes. Dies würde bedeuten, dass bei Versuchen bei 25bar, 25 Gaszylinder für die gleiche Versuchsdauer notwendig wären, für die bei 1bar, ein Zylinder ausreichen würde .

Um diesem Trend etwas entgegen zu wirken, wurde die Düsenöffnungen um ca. 30% verringert. Eine weitere Reduzierung, ist nicht möglich ohne

signifikante Einbußen in der Stabilität des Strömungsfeldes hinnehmen zu müssen. Weiters wurde der der Düsenabstand leicht verringert wodurch sich die Flammenstreckung auch leicht erhöht und geringere Flussraten notwendig sind. Insgesamt sind somit Einsparungen im Bereich von 50% gegenüber der ursprünglichen Brennerdesign realisiert worden, was aber noch immer signifikanten Mehrbedarf an Durckgasen notwendig macht. Dies wird im folgenden Abschnitt deutlich.

3.2 Gaszufuhr- und Regelungsanlage

Zur Auslegung der Gaszufuhr wurden Simulationen ausgeführt die Aussagen über durchschnittliche Versuchsbedingungen zulassen. Mittels CHEMKIN, einer Software zur Lösung reaktionskinetischer Probleme, wurde anhand des Beispiels Methan, Flussgeschwindigkeiten zur Verlöschung von Methan-Luft-Flammen bestimmt.

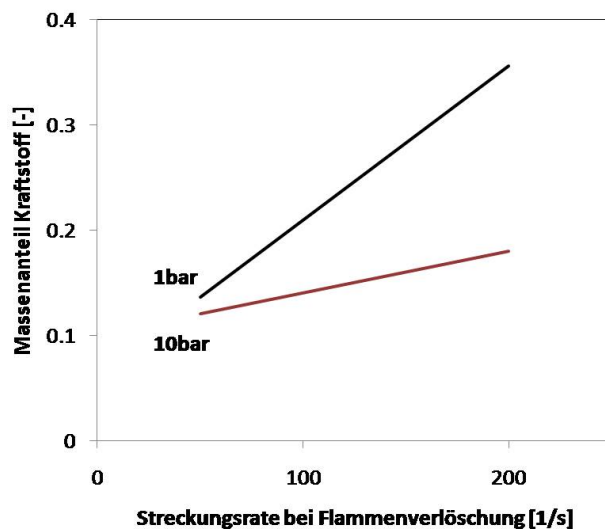


Abbildung 2: Ergebnisse numerischer Berechnungen der Streckungsrate bei Verlöschen als eine Funktion des Massenanteil des Kraftstoffs in einer Methan-Stickstoffmischung, von nicht-vorgemischten Methan-Luftflammen mittels CHEMKIN

Es kann beobachtet werden, dass bei erhöhtem Druck und gleichem Kraftstoffmassenanteil, die Streckungsrate (und somit die Flussgeschwindigkeiten) zum Verlöschen der Flamme höher sein muss. Bei zunehmendem Kraftstoffmassenanteil verstärkt sich dieser Trend.

Aus diesen Flussgeschwindigkeiten, wurde mittels der geometrischen Dimensionen des Brenners, die Volumenflussraten für die Massenflussregler und folglich der Gasbedarf für eine durchschnittliche Experimentendauer bestimmt.

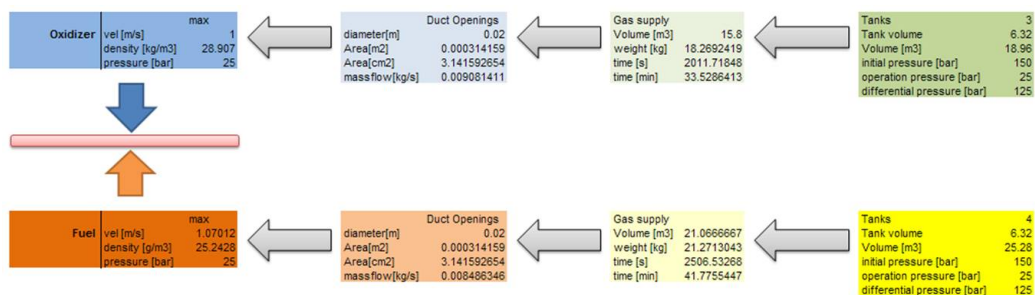


Abbildung 3: Berechnung des Gasbedarfs und Experimentendauer basierend auf durchschnittlichen Flussraten und Zylinderdimensionen

Die Gasströme werden mittels analogen computer-gesteuerten Massendurchflussreglern kontrolliert. Eine Spannung im Bereich von 0-5V, welche mit der Flussspanne korreliert, wird an den Massendurchflussregler gesandt, welcher einen proportionalen Gasfluss zulässt. Die maximale Durchflussrate und eine entsprechende Kalibrierung bestimmen den Einsatzbereich eines Massendurchflussregler. Ein Massendurchflussregler arbeitet nach dem Prinzip der Messung des Molekulargewichts des durchströmenden Gases. So ist es nicht notwendig für eine bestimmte Temperatur oder Druck zu kalibrieren. Um andererseits allerdings den tatsächlichen Volumenstrom im Experiment zu berechnen, müssen die genauen Bedingungen, wie Temperatur und Druck, bekannt sein. Dies wird mittels entsprechender Software vollautomatisch in Echtzeit durchgeführt.

Aufgrund der Berechnungen wurde die Anzahl der Massendurchflussregler auf acht, mit einer Dimensionierung von 30 bis 500 slm (Standard Liter pro Minute) festgelegt. Um eine experimentelle Laufzeit von 3 Stunden unter

Hochdruckbedingungen mit durchschnittlichen Flussraten zu ermöglichen wurde der Gasbedarf auf 24 Gaszylinder festgelegt. Vier davon sind das entsprechende Kraftstoffgas (bzw. Stickstoff zur Vaporisierung von flüssigem Kraftstoff), vier Luftzylinder, und 14 Stickstoffzylinder.



Abbildung 4: Gaszylinder verbunden über flexible Hochdruckleitungen mit Druckgasverteiltern.

Bis zu vier Zylinder werden in einem Druckgasverteiler zusammengeschlossen und der Druck über einen Regulator kontrolliert. Durch Edelstahlleitungen wird das Gas an die spezifischen Massendurchflussregler geleitet. Der Eingangsdruck, ein wichtiger Parameter im Betrieb der Massendurchflussregler, wird knapp vor dem Massendurchflussregler erneut gemessen um für die Rohrreibungsverluste bei erhöhten Flussgeschwindigkeiten kompensieren zu können.

3.3 Druckkammer

Aufgrund der Voraussetzung eine flexible und erweiterbare Anlage zu realisieren, war es notwendig nicht nur die Reaktionszone unter Druck zu setzen, sondern einen Ansatz zu wählen, wo der gesamte Brenner

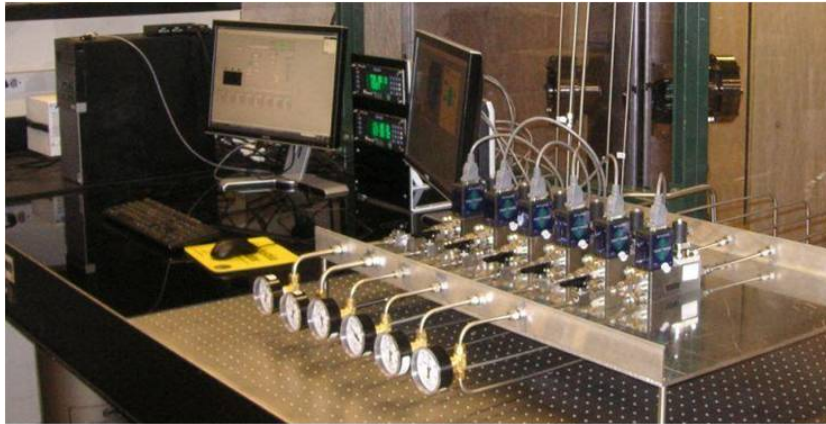


Abbildung 5: Massendurchflussregleranlage mit digital/analog-Wandler und Rechereinheit.

sich in einer Druckkammer befindet. Die Druckkammer muss groß genug sein einem Gegenstrombrenner Platz zu bieten, ausreichend Durchlässe für Leitungen haben, optischen Zugang gewährleisten (Quarzfenster), und einem Betriebsdruck von 25bar standhalten. Ein vertikal zylindrisches Design mit Rundplattenabschlüssen an unterem und oberem Ende und vier Schaugläsern präsentierte sich als optimale Lösung. Runddesigns erlauben Material- und somit Gewichtseinsparungen bei gleicher Druckbeständigkeit gegenüber scharfkantigen Geometrien. Als Werkstoff wurde 304 rostfreier Edelstahl gewählt, welcher gute Bearbeitbarkeit, bei ausgezeichnetem Korrosionsschutz und Festigkeitswerten besitzt. Zur weiteren Verbesserung der Langzeitbeständigkeit wurde der Hauptzylinder zusätzlich elektropoliert. Die Kammerhöhe wurde mit 1000mm, der Durchmesser mit 300mm bei einer Wandstärke von 15mm festgelegt. Der Zylinder besitzt geflanschte Enden, an welchen die Rundplatten mittels Schraubverbindungen befestigt werden. Alle Übergänge werden mit O-Ringen abgedichtet. Weiters befinden sich vier radial ausgerichtete Rohransätze für Schaugläser im Hauptzylinder. Durchlässe für Rohrleitungen, Kabel und Messgeräte wurden zum Großteil in die Bodenplatte integriert. Grund hierfür ist, dass es möglich sein soll die Kammer anhand der Haken in der Deckplatte mittels Kran anzuheben, ohne Verbindungen zum Brenner, welcher auf der Bodenplatte befestigt ist, zu lösen.

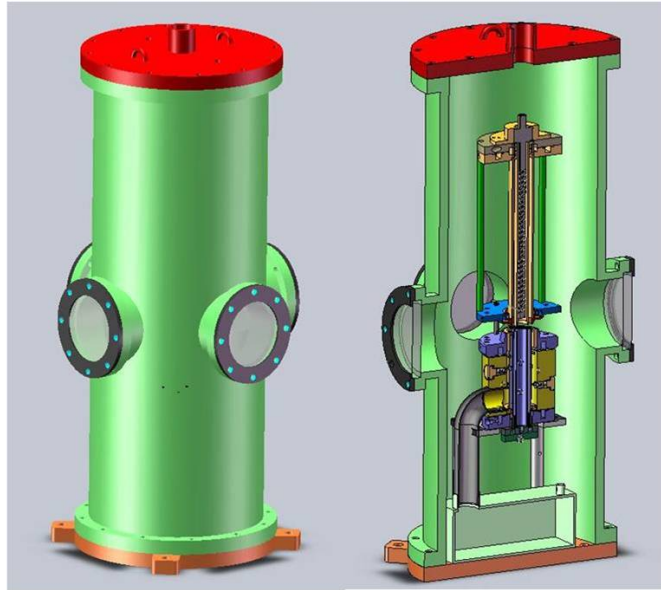


Abbildung 6: Normalansicht und Querschnitt der Druckkammer und des Gegenstrombrenners in einer CAD Darstellung.

Die Druckkammer wurde mittels CAD Software gezeichnet und auch diversen Drucksimulationen unterzogen. Der übliche Sicherheitsfaktor für derartige Anwendungen ist 1,5 bis 3. Die Kammer (ohne Fenster) wurde für rund 150 bar ausgelegt, was einem Sicherheitsfaktor von 6 entspricht. Das endgültige Design hielt auch in den numerischen Simulationen stand. Weiters wurde die Kammer einem hydrostatischen Drucktest unterzogen, welcher ebenfalls positiv verlief. Eine offizielle Zertifizierung steht noch bevor.

Die Fenster wurden aufgrund der sensiblen Natur von Quarz mit spezieller Sorgfalt ausgelegt und getestet. Quarz ist ein äußerst spröder Werkstoff, dessen Fähigkeit Kraft oder Druckansprachen zu widerstehen maßgeblich durch Auslenkung bestimmt wird. Aus diesem Grund kommt der Dimensionierung, insbesondere der freiliegende Fläche des Fensters und dessen Lagerung besondere Bedeutung zu. Die Fenster haben einen, für Druckanwendungen, sehr großen Durchmesser von 20cm und einen freiliegenden Durchmesser von 15cm. Die ursprünglich auf Empfehlung

des Herstellers geplante Sichtglasstärke von 1,2cm hielt, einem in einer eigens zu diesem Zweck konstruierten Versuchsanordnung, nicht stand. So wurde das Glas langsam zunehmendem Druck ausgesetzt und die Durchbiegung gemessen. Bei 33 bar, nahe an der Sicherheitsgrenze, wurde das Glas zerstört. Aus diesem Grund wurde die Sichtglasstärke auf 2,5cm erhöht, was ein problemloses Standhalten von 40bar ermöglichte. Da sogar kleine Kratzer oder Frakturen stark negative Auswirkungen auf die Widerstandsfähigkeit des Glases haben können, werden die Gläser mittels großflächiger Neoprendichtung angepresst.

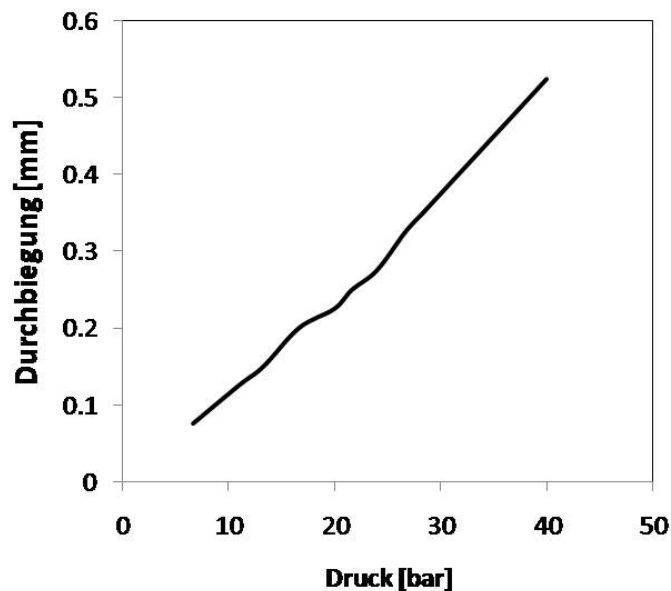


Abbildung 7: Bei der Druckprüfung gemessene Werte der Durchbiegung des 25mm Quarz-Sichtglases als Funktion des Druckes.

3.4 Kühl- und Druckwasserversorgung

Im Laufe der Experimente könnte es dazu kommen das Gase sich im Abgastrakt entzünden und es zu einer Nachverbrennung kommt, die sich explosionsartig ausbreitet. Um dies zu verhindern und die heißen Abgase zu kühlen, wird feinst zerstäubtes Wasser in das Abgas eingesprüht.

Somit ist es notwendig eine Druckwasserversorgung mit bis zu 30bar zu Verfügung zu haben. Zu diesem Zweck wurde eine Anlage gebaut, welche den Wasserdruck aus der Hausleitung von 5bar auf 30bar anhebt. Ein Kolbenpumpenkopf wurde zu diesem Zweck auf einen Drehstrommotor montiert. Die Laufgeschwindigkeit des Motors und somit das Pumpvolumen kann mittels Veränderung der Frequenz erreicht werden. Aufgrund der Inkompressibilität von Wasser und des konstanten Volumenhubes der Pumpe ist die Volumenförderungsrate unabhängig vom Kammerdruck.

Um das Wasser aus der Kammer abzulassen, werden in einem ersten Schritt Abwasser vom Abgas in einem Abscheider getrennt und in einem Auffangbehälter gesammelt. Kapazitive Sensoren bestimmen die Füllhöhe und senden ein entsprechendes Signal an eine Software welche das Signal verarbeitet und entsprechend über ein Halbleiterrelais ein Magnetventil kontrolliert, welches Wasser im geeignete Maß ablässt.

Der Brennerkörper ist ebenfalls wassergekühlt um neben Werkstoffermüdung auch der Erwärmung des Kammerinneren vorzubeugen.

3.5 Kontroll-, Kalibrier- und Messeinrichtung

Ein Computerprogram, wurde in LABVIEW geschrieben um gewünschte experimentelle Bedingungen und Messungen zusammenzuführen und Befehle an die entsprechenden Geräte zu senden. Als Basis dient ein mit LABVIEW ausgestatteter quad-core Prozessor PC . Ein National Instruments PXI System dient als Instrumentenbussystem zur Datenerfassung und Gerätesteuerung. Temperatur-, Druckaufnahme und Videoüberwachung bzw. analoge Outputs finden über dieses System statt. Die Steuerung der Massendurchflussregler findet über digital/analog-Wandler statt, die über RS-232 Schnittstellen mit dem Rechner verbunden sind. Die Kommunikation zu Magnetventilen ist analog, zu Frequenzwandler und PID-geregelten Ventilen mittels RS-485. Temperaturmessungen werden mit Typ-K und Typ-R (für Hochtemperaturanwendungen) Thermoelementen und Druckmessungen mit DSP-Drucktransmittern durchgeführt. Zur manuellen

Zündung der Anlage wird eine Funkenzündung, nach dem Prinzip des Tesla-Transformators, eingesetzt. Dies erlaubt es, auf Knopfdruck eine Spannung bis zu 120kV, oder einen Funkensprung bis zu 3cm, zu erzeugen. Elektroden sind so platziert das der Funke sich vertikal durch die Stagnationsebene ausbildet, jedoch keine Beeinträchtigung des Strömungsfeldes entsteht. Der Kalibrierung der Massendurchflussregler kommt in dieser Anwendung besondere Bedeutung zu. So kann sich nach einer gewissen Zeit die maximale Flussrate verändern, was zu einer prozentuellen Abweichung über die gesamte Spanne führt. Mit einem Trommel-Gaszähler werden die tatsächlichen Flussraten gemessen und in die Software eingespeist. Über die korrigierte Flussspanne kann somit für die Abweichung kompensiert werden.

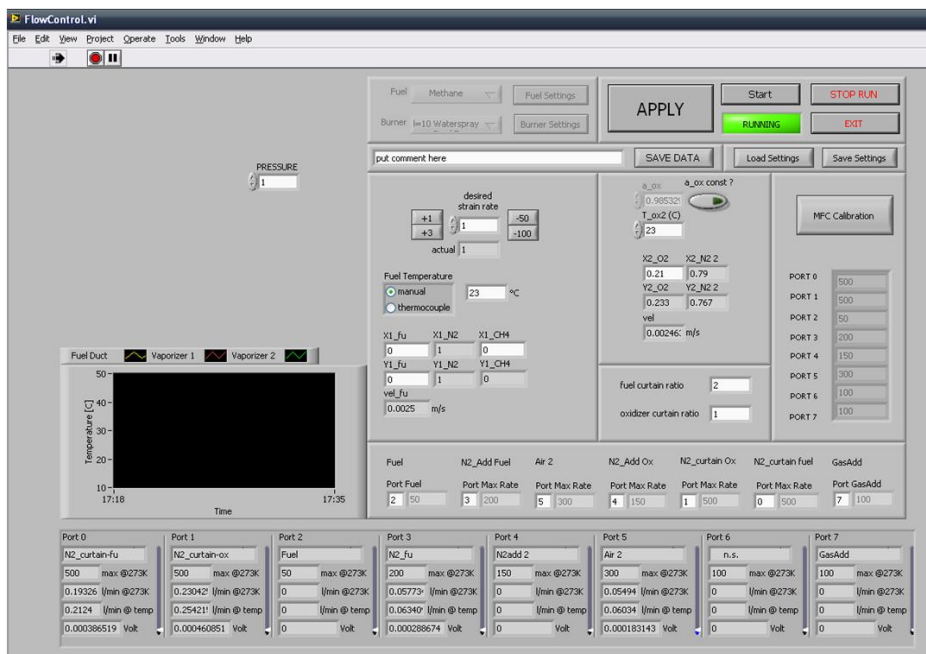


Abbildung 8: Screenshot der Benutzeroberfläche des Computerprogramms, welches mittels gemessenen Umgebungswerte und gewünschter Bedingungen die Parameter für die Massendurchflussregler berechnet und entsprechende Signale an die digital/analog-Wandler sendet.

4 Funktion

Die Verifizierung der Funktionstüchtigkeit der Anlage wurden in einem ersten Schritt durch die einfache Erstellung stabiler Flammen erreicht. So wurde bei atmosphärischem Druck eine stabile Methanflamme mittels Funkenzündung erzielt. Mit der selben Vorgangsweise konnte auch eine Flamme bei 3bar erstellt werden.



Abbildung 9: Eine nicht-vorgemischte Methan-Luftflamme mit einem Kraftstoffmassenanteil von 0.35 bei einfachem atmosphärischem Druck.



Abbildung 10: Eine nicht-vorgemischte Methan-Luftflamme mit einem Kraftstoffmassenanteil von 0.25 bei drei 3bar Druck.

5 Konklusion

Eine Hochdruckkammer für Verbrennungsexperimente bis zu 25bar wurde im Zuge dieses Projekts berechnet, gezeichnet und angefertigt. Alle Teile der Anlage wurden auf Druckbeständigkeit und Funktionstüchtigkeit unter angestrebten Bedingungen getestet. Geeignete Kontroll- und Messhardware wurde an die Anlage gekoppelt. Eine Software-oberfläche zur Steuerung der Anlage wurde programmiert und die Funktionstüchtigkeit überprüft. Eine Reihe von unterstützenden Funktionen wie Wasserkühlung, Abgas-/Abwasserregelung, Zündanlage, Wasserdruckanlage, Videoüberwachung, Explosionsschutz wurden in die Anlage integriert und vollkommen automatisiert. Die Anlage ist durch die umfangreiche Softwareoberfläche und fortgeschrittene Automatisierung, ohne Sicherheitseinbussen, durch eine Person zu bedienen. Die Funktion der Anlage konnte durch die Erzeugung einer laminaren nicht-vorgemischten Methan-Luftflamme nachgewiesen werden.

6 Aussicht

Nachdem die prinzipielle Funktionstüchtigkeit der Anlage bestätigt werden konnte, steht nun die Prozedurentwicklung nach der Experimente durchgeführt werden können an. Hierbei müssen die diversen Parameter zur Kontrolle der Versuchsbedingungen mit verbesserter Präzision aufeinander abgestimmt werden, um kleinstmögliche systematische Fehler zu produzieren. Im speziellen die Balance in Bezug auf Abgasabsaugung und Gasfluss wird näher zu untersuchen sein, um eine flache Flamme zu ermöglichen. Ausschwenkbare Elektroden bzw. alternativ auch Glühstifte sollte zu einer weiteren Verbesserung der Stabilität des Strömungsfeldes führen. Weiters wird die Entwicklung eines Hezelementbrenneraufsatzes, Selbstzündungsexperimente und eine Verdampfungsanlage, Experimente mit flüssigen Kraftstoffen ermöglichen.

7 Zusammenarbeit

- Wissenschaftlicher und technischer Austausch im Zuge des Projekts mit Prof. Forman Williams, Prof. Kalyanasundaram Seshadri und Dr. Reinhard Seiser.
- Ermöglicht wurde der Aufenthalt Dank der anhaltenden Kooperation von der Technischen Universität Wien, durch Univ. Prof. Dr. Techn. Ernst Pucher und UCSD, durch Prof. Kalyanasundaram Seshadri.
- Werkstoffbearbeitung und Schweissarbeiten wurden vom Marine Science Development Center der University of California, San Diego übernommen.
- Das Projekt wurde von der US Armee durch das Army Research Office unterstützt.

8 Danksagung

Ich möchte mich in aller Form bei allen am Gelingen dieses Projekts beteiligten und unterstützenden Personen aufrichtig bedanken. Ganz besonderem Dank gilt der Austrian Marshallplan Foundation, die großzügig zur Kompensation der persönlichen finanziellen Aufwände beigetragen hat. Besonderer Dank gilt auch Univ. Prof. Dr. Techn. Ernst Pucher und Univ. Prof. Dr. Reinhard Willinger, deren Unterstützung die Bewerbung für ein Stipendium ermöglichte.

9 Anhang

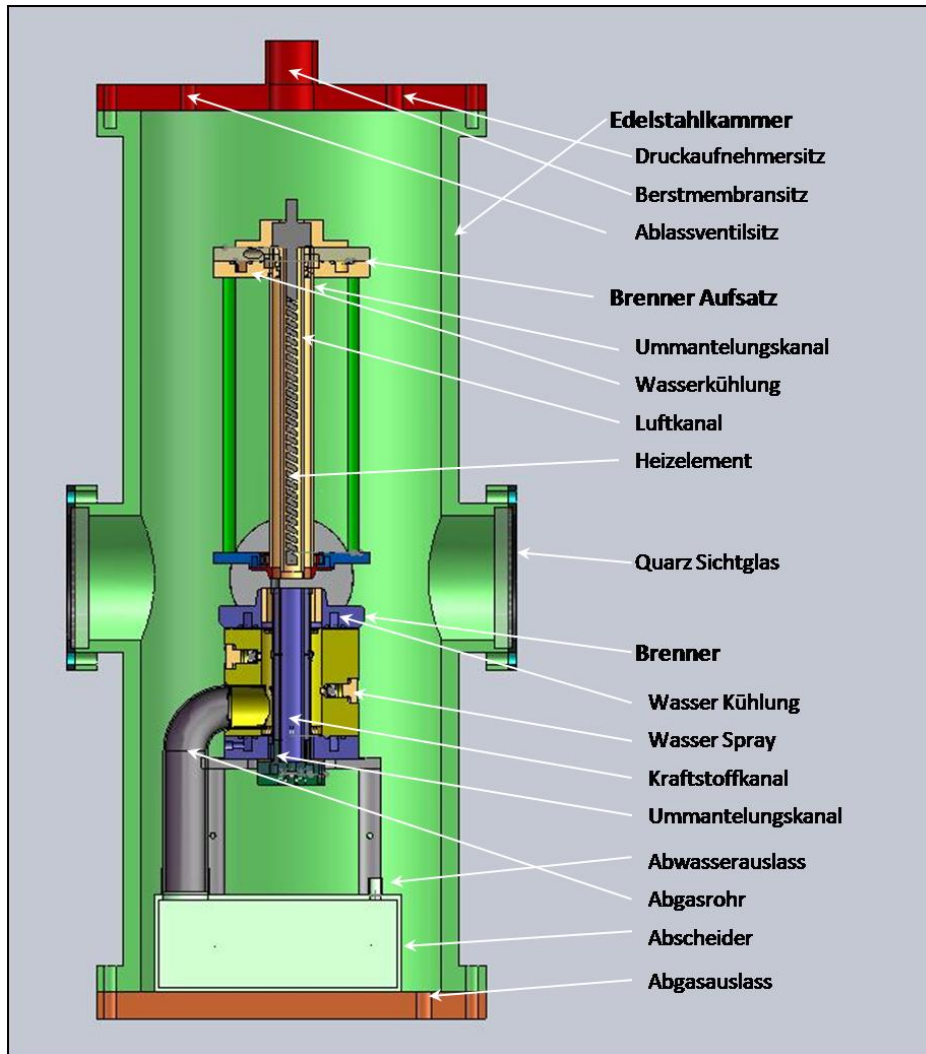


Abbildung 11: CAD Querschnittsdarstellung von Druckkammer und Gegenstrombrenner mit Teilebenennungsliste



Abbildung 12: Geschlossene Druckkammer mit Gasleitungen durch die Bodenplatte und auf der Deckelplatte montiertem Überdruckventil und Berstscheibe



Abbildung 13: Gegenstrombrenner mit installierten Gasleitungen, montiert auf der Bodenplatte.