

# METHANULL, EIN PROGRAMM ZUR SENKUNG DER METHANEMISSIONEN IN DER ATMOSPHÄRE

**Vanessa Moosbrugger, Fabrice Giuliani**

Combustion Bay One e.U, Plüddemangasse 39, +43 316 22 89 80,  
Fabrice.Giuliani@CBOne.at, www.cbone.at

**Kurzfassung:** Die konventionelle Verbrennung stellt noch immer 80% der weltweiten Energieproduktion dar. Umweltfreundliche Energiequellen müssen weiterentwickelt werden um den Klimawandel aufzuhalten. Erneuerbare Energien werden noch etwas Zeit benötigen, bis sie eine vergleichbare Größe zur konventionellen Verbrennung darstellen. Deswegen ist es auch so wichtig, im Bereich Verbrennungstechnologie weiter zu forschen um die Umweltprobleme in den Griff zu bekommen. In diesem Beitrag wird über eine Technologie gesprochen, die es erlaubt eine um 2% effizientere Verbrennung durchzuführen, also ein „flexibleres Verbrennungsverfahren dank optionaler Pulsverbrennung“.

Dieses Projekt befasst sich mit der Entwicklung eines 2-stufigen Brenners, der mit Gasen niedriger Heizwerte mit pulsierender Verbrennung betrieben werden soll, um zu beweisen, dass durch das Prinzip der Pulsation der Flamme ein besseres Verbrennungsergebnis erzielt werden kann. Die pulsierende Verbrennung ist eine Alternative zur konventionellen Verbrennung. Durch die Pulsation kann eine bessere Vermischung der Luft mit dem Verbrennungsgas erzielt werden, eine höhere Energiedichte als auch eine höhere Reaktionsgeschwindigkeit. Es kann auch eine gesteigerte Effizienz des Brenners durch den geringeren Bedarf an Verbrennungsgas nachgewiesen werden. Die Flamme ist durch die Pulsation fähig an der Löschgrenze zu brennen, was ohne Beschallung nicht möglich wäre. Zusätzlich kann der Bedarf an Stützgas der Pilotflamme reduziert werden. Durch diese Art der Verbrennung kann das Kohlenmonoxid, das bei einer unvollständigen Verbrennung auftritt und zur Bildung von bodennahem Ozon beiträgt, reduziert werden. Auch das krebserregende Ruß, das einen eklatanten Beitrag zur globalen Erwärmung leistet, wird bei der pulsierenden Verbrennung gesenkt, sowie das Ozonschicht schädigende Stickstoffmonoxid. Doch nicht nur die Umwelt profitiert durch die Anwendung der Pulsation der Flamme, auch die Wirtschaft kann einen enormen Nutzen durch die geringeren Betriebskosten daraus ziehen. Die pulsierende Verbrennung hat großes Potential dazu beizutragen die Umweltprobleme, die durch schlechte Verbrennung entstehen, zu mildern. Der Anwendungsbereich des entwickelten Brenners liegt zum Beispiel in der Verbrennung von Gasen mit geringem Heizwert (Biogas, Abgas aus der Biomasse, wobei der Methaninhalt weit unter 40 vol.% liegt) mit Hilfe einer konventionellen Fackel, wo eine Reduktion des Stützgases von bis zu 20 Prozent erreicht werden kann. Besonders für Deponien ist die pulsierende Verbrennung von Interesse. Das dort von Bakterien entwickelte Methan Gas ist hauptverantwortlich für den Treibhaus-Effekt und kann durch diese Art der Verbrennung einen weniger schädlichen Einfluss auf die Umwelt haben, durch die

Umwandlung des schädlichen Methan-Gases in Kohlenstoffdioxid. Das Ingenieurbüro für Verbrennungstechnik Combustion Bay One e.U. (CBOne) aus Graz beschäftigt sich mit der Weiterentwicklung dieser Technologie.

Eine eigens dafür entwickelte Sirene kann Frequenzen sowie Amplituden regeln, um die Flamme mit dem Brenner in Resonanz zu bringen und dadurch zu stabilisieren. Zusammen mit einem Demonstrator-Brenner wurden zahlreiche Tests im Labor durchgeführt, die eine Reduktion der Abgase wiederlegen können. Auch fand eine Vielzahl von Sensoren Anwendung bei den Tests. Mit dieser Art der Verbrennung kann man auf jedes beliebige Brenngut zurückgreifen und trotzdem geringe Abgaswerte erzielen. Die pulsierende Verbrennung ist dabei eine neue Art der Verbrennung, bei der der Antrieb das Geräusch ist, das mit der Flamme interagiert, sie deformiert und kompakter sowie dynamischer macht. Das Geräusch treibt quasi die Verbrennung an.

Neueste Forschungsergebnisse belegen, dass durch die pulsierte Verbrennung das Kohlenmonoxid (CO) sowie das Stickstoffmonoxid (NOx) um 15% gesenkt werden können, bei einer 2% höheren Wärmemenge. Während der Konferenz wird diese Technologie beschrieben und die Ergebnisse die damit erzielt werden konnten.

**Keywords:** pulsierende Verbrennung, Schadstoffreduktion, Brenner, Sirene

## 1 Einleitung

Erst vor kurzem fand die UN-Klimakonferenz (COP 21) in Paris statt, bei der beschlossen wurde, die globale Erwärmung unter 2°C zu halten [1]. Um dieses Ziel zu erreichen sind nicht nur menschliche Maßnahmen gefordert, sondern auch weitreichende technologische Veränderungen.

Nach den neuesten Schätzungen der IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) zufolge ist die Methan Konzentration in der Atmosphäre um 150%, verglichen zur vorindustriellen Zeit, gestiegen und hat nach dem Kohlendioxid das größte Strahlungspotential. Das Treibhauspotential von Methan-Emissionen über ein Jahrhundert gesehen ist 25 bis 34 Mal so hoch wie das von Kohlendioxid (verglichen mit der Masse) [2]. Globale Abkommen gehen immer mehr in die Richtung die Methan-Emissionen zu reduzieren. Das ist allerdings nur mit strengen Regulierungen der CH<sub>4</sub> (Methan) Produktion in Bezug auf die Menschen möglich.

Seit 2008 dürfen Betreiber von Mülldeponien laut gesetzlichem Beschluss Gas-Emissionen nur mehr verkaufen oder diese Emissionen, die einen signifikanten Anteil von CH<sub>4</sub> aufweisen, selbst wieder verwerten [3]. Nach zahlreichen Lösungsversuchen stellte sich heraus, dass der umweltfreundlichste Weg die Abfackelung der Deponiegase ist. Unter bestimmten Voraussetzungen ist eine Energierückgewinnung möglich. Für langzeit-Deponien (10 Jahre oder älter) sinkt der Methan-Inhalt auf unter 20 vol.% und ist nicht mehr fähig ohne die Verwendung eines Stützgases zu brennen. Das bedeutet wiederum enorme Kosten für konventionelle Treibstoffe (meist Erdgas) um die Deponiegase abzufackeln.

Das Grazer Ingenieurbüro für Verbrennungsmanagement, Combustion Bay One (CBOne) wurde beauftragt eine innovative technische Lösung zu finden, um das Methangas billiger zu verwerten, als es mit konventionellen Treibstoffen möglich wäre. Dieser Lösungsansatz soll beliebig ausweitbar auf die Verbrennung anderer Gase mit niedrigem Heizwert sein, so wie beispielsweise Biogas oder Hochofengas. Das ist der Anreiz für das Programm MethaNull. Die Vorteile, die aus der Nutzung dieser Technologie hervorgehen sind unter anderem ein breiterer Betriebsbereich (vor allem bei Teillastbetrieb), höhere Austrittstemperaturen (ein höherer Wirkungsgrad beim gleichen Treibstoffverbrauch, oder weniger Treibstoffverbrauch um denselben Betriebszustand zu erreichen) und weniger Schadstoffe (CO, NOx) gegenüber der konventionellen Verbrennung.

Die hier beschriebene Lösung bezieht sich auf die strömungsakustische Erregung der Flamme, eine nicht-konventionelle Technik um Verbrennungsinstabilitäten in den Griff zu bekommen. Dieser Artikel beschreibt die MethaNull Technology, die technische Anlage und die Resultate, die die Prinzipien der pulsierenden Verbrennung widerlegen.

## **2 Technische Aspekte der MethaNull Technology**

Die Inspiration für diese Technologie kommt aus der pulsierenden Verbrennung: Eine Flamme macht ein Geräusch und die Flamme reagiert auf dieses. Wenn beide Effekte zur selben Zeit auftreten, ist eine thermoakustische Instabilität vorhanden. Das passiert wenn die beiden treibenden Faktoren für die Instabilität, nämlich der akustische Druck und die instationäre Wärmeabfuhr in Phase arbeiten. Diese Art der Flamme fällt sofort wegen ihrer unüberhörbaren Lautstärke und ihrem speziellen Ton auf. Die instationäre Wärmeabfuhr resultiert in einem Flackern der Flamme (eine Kombination aus einer periodischen Flammenoberflächendeformation und einer Variation der Verbrennungsintensität). Wenn dieses thermoakustische Phänomen nichtgewollt ist spricht man von einer Verbrennungsinstabilität und wenn es erwünscht ist, von pulsierender Verbrennung. Die Vorteile der Pulsation der Flamme sind eine bessere Vermischung der Luft mit dem Verbrennungsgas, eine höhere Energiedichte als auch eine höhere Reaktionsgeschwindigkeit. Der Brenner ist zusätzlich fähig mit weniger Verbrennungsgas auszukommen und kann dadurch eine gesteigerte Effizienz nachweisen. Die pulsierende Verbrennung wird seit den 1930er Jahren für industrielle Zwecke genutzt [6, 7, 8]. Es ist amtlich, dass diese Art der Verbrennung ein „verbessertes“ Verbrennungsergebnis liefert als die konventionelle Verbrennung, jedoch ist der Betriebsbereich stark eingeschränkt und auch die Lärmentwicklung sowie die auftretenden Vibrationen haben ein voranschreiten der Technology stark gebremst.

CBOne hat einen flexiblen Brenner entwickelt, bei dem die pulsierende Verbrennung kontrolliert in Echtzeit geregelt und gesteuert werden kann. Mit dem entwickelten Brenner können unterschiedliche Frequenzen für unterschiedliche Lastfälle angesteuert werden und das nur dann, wenn die Modulation auch sinnvoll ist (zB wenn der Methangas-Inhalt unter eine gewisse Schwelle sinkt). Die restliche Zeit arbeitet der Brenner konventionell. Das Konzept ist in Abbildung 1 dargestellt.

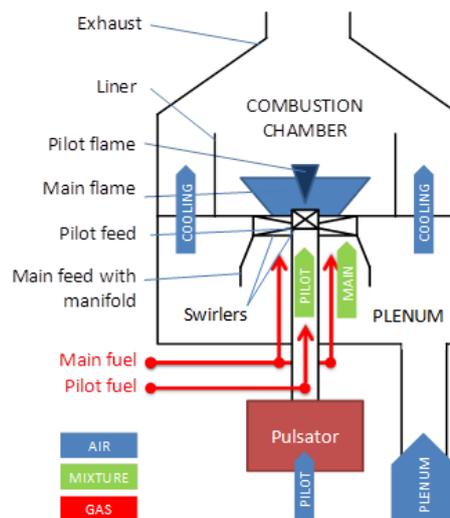


Abb. 1: MethaNull Verbrennungstechnologie

Das CBOne-Konzept besteht aus einer Sirene, welche der Flamme vorgelagert platziert wird. Nachdem die Energie für die Erregung der Flamme verglichen zur Energieausbeute möglichst gering gehalten werden soll, wird die Pilot-Flamme als Pulsationsantrieb genutzt. Die Pilotflamme wird also durch eine Sirene pulsiert und bringt diese dadurch in Resonanz was wiederum Einfluss auf die Hauptflamme hat. Abbildung 2 zeigt die Flamme bei konventioneller Verbrennung – um die Verbrennung zu halten und als dynamischer Treiber – und bei pulsiertem Flamme, wo das Geräusch durch die Sirene verstärkt wird und die Hauptflamme beeinträchtigt. Kurz gesagt fungiert die Pilot-Flamme als eine Art Rüttler. Dieses Konzept würde theoretisch bei allen existierenden Stufen-Brennern funktionieren.

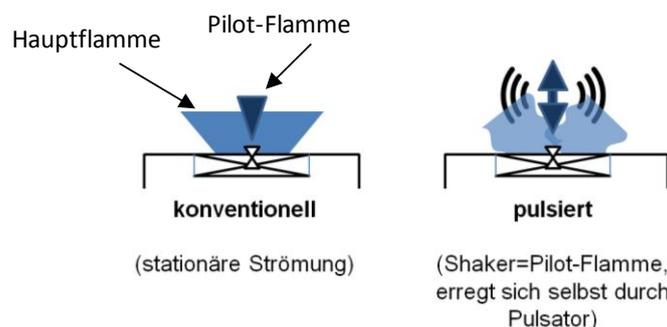


Abb. 2: Vergleich konventionelle Verbrennung zu pulsierender

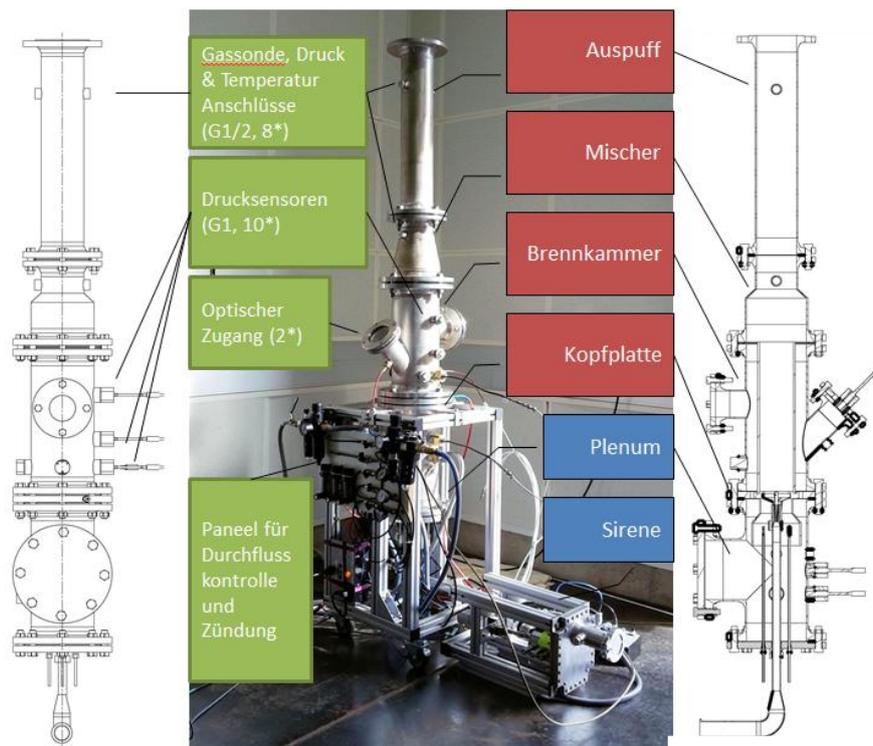
Der gewünschte Effekt dieser Art der Verbrennung ist die periodische Deformation der Flammenfront um ihr Volumen, das die Energiedichte beeinflusst, zu reduzieren. Die heißen Gase strömen dynamischer aus und auch höhere Reaktionsraten finden durch die Kombination aus Beschleunigung und leichter Kompression des periodisch einströmenden Gases statt. All diese Effekte resultieren in einer besseren Flammbarkeit, einer besseren Vermischung und einer geringeren Ansammlung von Verschmutzungen innerhalb des Brennraumes durch das Rütteln.

## 2.1 Brenner Anordnung

Die Brenner-Anlage die für diese Studie verwendet wurde ist in Abbildung 3 dargestellt. Sie besteht aus drei Hauptkomponenten:

- Das Plenum
- Das Brennergehäuse
- Der Abgastrakt

Für die Tests wurden unterschiedliche Konfigurationen gewählt. Niedrig-Energie-Tests wurden unter Freistrahbedingungen durchgeführt (ohne das Gehäuse und den Abgastrakt). Der Brenner arbeitet unter Umgebungsbedingungen.



**Abb. 3: Brenner-Anlage und ihre Komponenten**

Es wurden 2 unterschiedliche Kopfplatten designt und getestet. Die eine davon enthält 8 Hauptbrenner und einen Pilot-Brenner der sich in der Mitte der Kopfplatte befindet und mit der Sirene pulsiert wird (Abb. 4). Die verwendeten Brenner Module sind auf der Platte fixiert. Alle 9 Brenner haben das exakt gleiche Aussehen um die Flammen Interaktion aus akustischer Sicht leichter zu verstehen. Diese Konfiguration wird auch als Matrix-Konfiguration bezeichnet (Konfig. I) und bietet den Vorteil einer separaten Regelung der Treibstoffmenge eines jeden einzelnen Brenners. Die zweite Variante der Kopfplatte (Konfig. II) ist einem konventionellen Stufen-Brenner ähnlicher. Dafür wurde eine Stauscheibe mit tangentialen Schlitzen verwendet, um dem Haupt-Luft-Gas-Gemisch einen Drall zu geben. Der Pilot-Brenner ändert sich im Vergleich zur Konfiguration I nicht und befindet sich auch hier in der Mitte der Platte. Damit die Kühlluft mit der Verbrennung interagieren kann besteht der Liner bei der Konfiguration I aus einem durchlöchernten Edelstahlblech. Bei der zweiten

Konfiguration ist der Liner ein 40 cm langes Quartz-Glas Rohr damit die Verbrennung beobachtet und analysiert werden kann. In diesem Fall vermischt sich das Abgas mit der Kühlluft kurz vor Erreichen des Kamins.

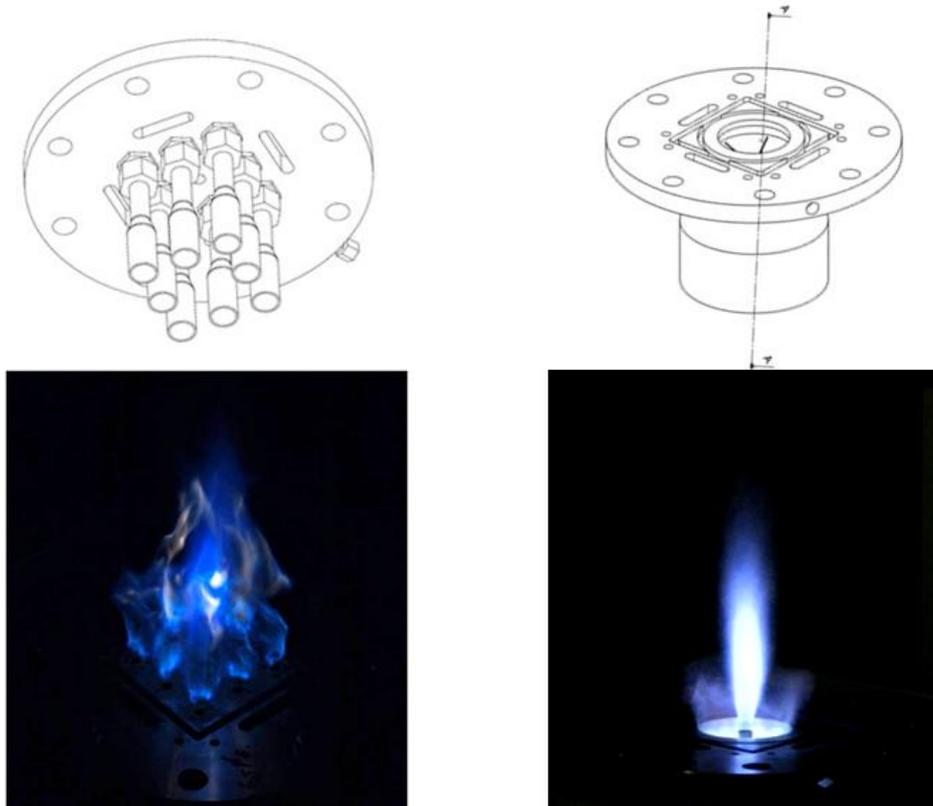


Abb. 4: Kopfplatten und die resultierenden Flammen: Matrix-Anordnung oder Konfiguration I (links), 2-Stufen axial Anordnung oder Konfiguration II (rechts)

## 2.2 Brenner Design

Wegen Urheberrechtsgründen und Gründen der richtigen Dimensionierung war es notwendig einen eigenen Gas Brenner mit Vormischung zu gestalten. Ein einfacher Fackelbrenner würde nicht in das System passen, da er möglicherweise die erzwungene Modulation absorbieren würde. Dieses Bauteil wurde für die Pilotflamme verwendet sowie für alle weiteren Flammen in Konfiguration I. In Konfiguration II ist er ebenfalls in der Mitte positioniert. Der Hauptunterschied zu einem konventionellen Bunsenbrenner ist, dass durch einen Drallerzeuger die eintretende Luft leicht verwirbelt wird (Abbildung 5). Der dezente Wirbel hilft der Flamme sich von der Brenneroberfläche leicht abzuheben und brennt abgesetzt von diesem. Dadurch wird der Wärmetransport durch Konduktion vermieden. Weitere konstruktive Details sind die Kombination der Venturi und der Gaslanzendüsen Position, die einen Flashback vermeidet sowie die einfache Form des Drallerzeugers, der einen akzeptabel geringen Druckverlust erzeugt und trotzdem eine faire Akustische Transparenz bietet.

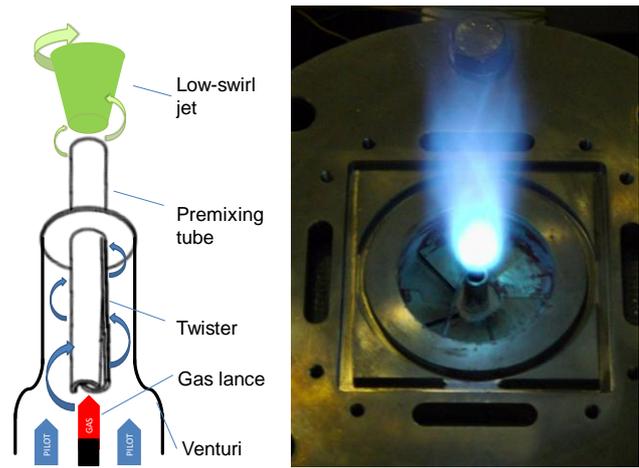


Abb. 5: Pilotbrenner, CBO3 Modul. (links) Prinzip, resultierende Flamme (rechts)

### 3 Ergebnisse

Es wurden unterschiedliche Tests bei Umgebungsbedingungen durchgeführt. Dabei änderte sich hauptsächlich die Konfiguration der Anlage. Zuerst wurden die Tests bei „freistrah- l-Bedingungen“ durchgeführt, also ohne den Abgastrakt und das Brennergehäuse. Der verwendete Treibstoff ist Butan-Gas. Für die ersten Tests lag der Fokus auf dem Verbrennungsgebiet, wo der Treibstoffinhalt beginnt zu fallen. Abbildung 6 veranschaulicht dies.

In der linken Abbildung sieht man den Treibstoffverbrauch bei Freistrahbedingungen, also ohne Abgastrakt. Bei Pulsation sieht man im Teillastbereich deutlich, dass der Treibstoffverbrauch geringer ist, als bei nicht Pulsation. Im Vollastbereich ist nur eine geringe Verbesserung sichtbar. Beim rechten Bild sieht man das Ergebnis bei eingegengten Bedingungen. Hier ist der Unterschied im Treibstoffverbrauch deutlich sichtbar und fast konstant mit der Einlassgeschwindigkeit der Luft. Durch die Interaktion mit der Kühlluft kann die Flamme besser stabilisiert werden und das im Teil- sowie Vollastbereich.

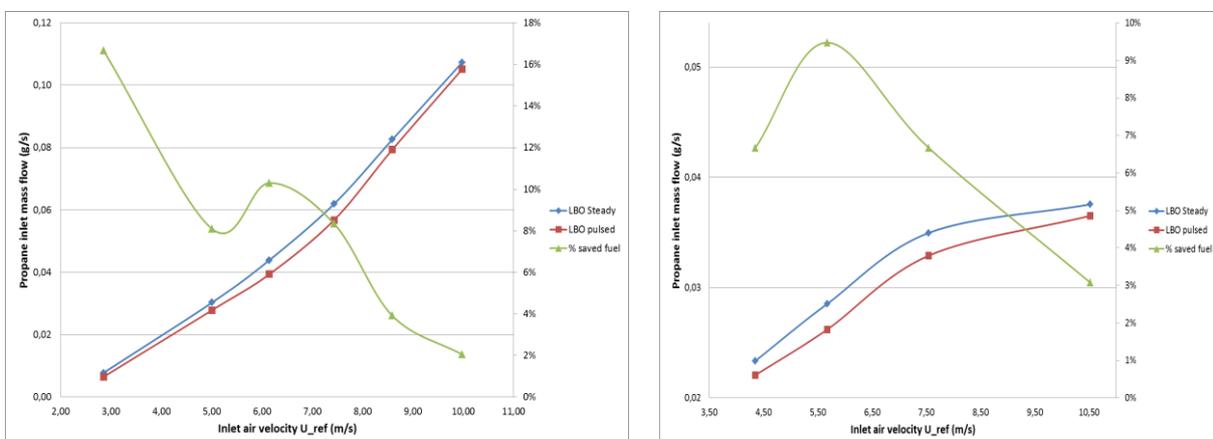


Abb. 6: Erweiterung des Betriebspunktes: Vergleich des Treibstoffverbrauches des Pilotbrenners an der unteren Löschgrenze bei normalen und pulsierten Bedingungen. Links: Freistrah. Rechts: eingegengter Strahl

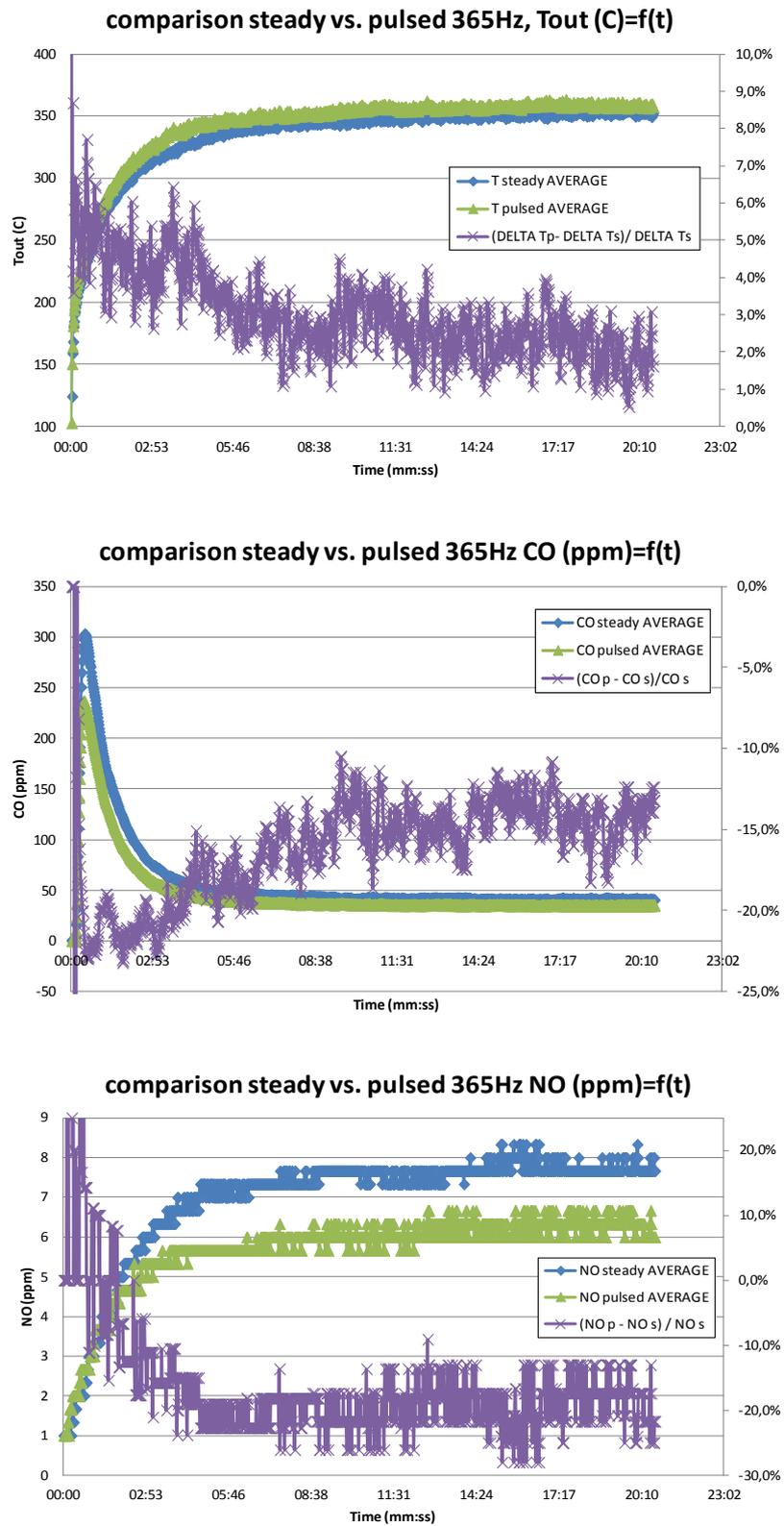


Abb. 7: Messungen und systematischer Vergleich stationär/gepulst bei 365 Hz

Bei den nächsten Tests, wurde nur der Pilotbrenner aktiviert. Auch hier wurden die Tests bei Umgebungsbedingungen durchgeführt, einmal bei niedrig-Energie und einmal bei hoch-Energie Bedingungen. Bei den niedrig-Energie Versuchen wurde die Luft- und die Treibstoffversorgung mit Ventilatoren gewährleistet und es wurde ein Lautsprecher des Typs Ekulit LSM-50M/K/F als Pulsator verwendet. Für die hoch-Energie Tests wurde die Luftzufuhr über ein 8 bar Druckluftnetzwerk bewerkstelligt. In diesem Fall ist der Pulsator eine Sirene, Model 3G von CBOne. Details davon können in folgender Referenz nachgeschlagen werden [4].

**Tabelle 1: Betriebspunkte**

		Hoch-Energie Begrenzte Flamme
Pilot Luft	[g/s]	1,13
Pilot Gas	[g/s]	0,13
Main Luft	[g/s]	4,71
Cooling Luft	[g/s]	11,76
U_ref Pilot (Mischung)	[m/s]	13,2
Thermische Energie Pilot	[kW]	6,019

In Abbildung 7 sind Vergleichsmessungen zwischen konventioneller und gepulster Verbrennung dargestellt. Ganz oben sieht man die unterschiedlichen Temperaturen während des Versuchs. In der mittleren Abbildung sind die Kohlenmonoxid-Emissionen abgebildet und in der letzten Abbildung die Stickoxid-Emissionen.

Bei den Tests konnte ein um 2% höherer thermischer Wirkungsgrad mit pulsierter Verbrennung im Vergleich zur konventionellen Verbrennung gemessen werden. Auch sind die Aufwärmzeiten um 1,1 Mal höher als herkömmlich. Wenn die Sirene und die Pilotflamme gut abgestimmt sind, ist durch die Pulsation eine 10 prozentige Reduktion des Treibstoffes möglich. Die Stickoxide (NOx) konnten um 15% gesenkt werden und auch das Kohlenmonoxid ist um 13% geringer als bei der konventionellen Verbrennung (Abbildung 7).

## 4 Schlussfolgerung

Mit diesem Projekt ist es gelungen einen flexiblen Brenner, der mit pulsierender Verbrennung betrieben wird, zu entwickeln. Man kann die Betriebsbedingungen beliebig erweitern, speziell bei Teillast. In dieser Technologie wird weniger Treibstoff verbrannt bei geringeren Emissionen, was auch experimentell belegt werden konnte. Das System ist des Weiteren mit allen existierenden Brennertypen kompatibel und es wurden bereits zwei Konfigurationen getestet und validiert: die Matrixanordnung und die konzentrische Anordnung.

Der nächste geplante Schritt beinhaltet Tests im Industriebereich.

## 5 Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns herzlich für die finanzielle Unterstützung der AWS bedanken (Austria Wirtschaftsservice GmbH). MethaNull konnte nur durch das AWS/PreSeed Programm finanziert und realisiert werden. Wir bedanken uns insbesondere bei Herrn Charareh.

Herzlichen Dank auch an unsere Kollegen der FH Joanneum / Luftfahrt für die Hilfe und Unterstützung, insbesondere Herr Prof. Dr. Holger Flühr und DI Lukas Andracher.

## 6 Referenzen

- [1] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2015), Adoption of the Paris Agreement, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1, Dec. 12, available at <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
- [2] Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P. M., 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Tech. rep. 1535 pp.
- [3] BGB1. II Nr. 39/2008, 2008. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich – Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien.
- [4] Giuliani, F., Lang, A., Gradl, K. J., Siebenhofer, P., and Fritzer, J. „*Air flow modulation for refined control of combustion dynamics using a novel actuator*“. Journal of Engineering for Gas Turbine and Power (2012). GTP-11-1102.
- [5] Giuliani, F., Moosbrugger, V., Stuetz, M., Leitgeb-Simandl, t. „*Optimisation of support fuel consumption burning low heat value gas using controlled combustion oscillations*“. In Proceedings of ASME Turbo Expo (June 2015), Montreal, Canada. GT2015-42377.
- [6] Reynst, F. H., „*Pulsating combustion: the collected works of FH Reynst*“. Pergamon Press, 1961.
- [7] Putnam, A. A. „*A Review of Pulse-Combustor Technology*“ Proceedings of the Symposium on Pulse combustion Technology for Heating Applications. 1979.
- [8] Zinn, B. „*Pulse combustion applications: Past, present and future*“. In Unsteady Combustion (1996), C. F. et al., Ed., Kluwer Academic publishers.