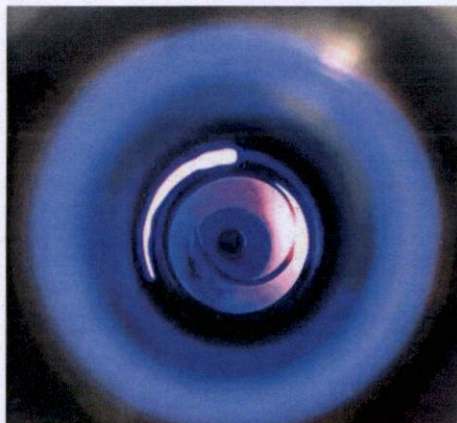



terraplasma emission control GmbH

„Abgasnachbehandlung von Verbrennungsmaschinen mit kaltem Plasma“



Abschlussbericht über das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderte
Entwicklungsprojekt, AZ 35406/01

	terraplasma emission control	terraplasma emission control GmbH Lichtenbergstraße 8 85748 Garching bei München
-------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------

Ansprechpartner:

Andreas Bockwinkel

Andreas.bockwinkel@tp-ec.com

Tel.: +49 89 12 41 470-0

Mobil: +49 171 8398565

Der Bericht ist über die Firma erhältlich

06/02					
Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt					
Az	35406/01-21/0	Referat	Finanzielles Projektcontrolling	Fördersumme	123.574€
Antragstitel		Abgasnachbehandlung von Verbrennungsmaschinen mit kaltem Plasma			
Stichworte		Plasma, Emissionen, Abgasnachbehandlung			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
8 Monate	20.11.2019	28.07.2020			
Zwischenberichte	Keine				
Bewilligungsempfänger		terraplama emission control GmbH Lichtenbergstraße 8 85748 Garching bei München		Tel +49 89 12 41 470-0	
				Projektleitung Andreas Bockwinkel	
				Bearbeiter Sandra Strenow	
Kooperationspartner		Keine			

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Primäres Ziel des Entwicklungsvorhabens ist die direkte Reduzierung von schädlichen Verbrennungsabgasen mittels der MOPS-Technologie und die damit verbundene Umweltentlastung. Neben den Stickstoffverbindungen (NO_x) können auch Kohlenwasserstoffe und andere Komponenten wirksam reduziert werden. In Verbindung mit einem elektrostatischen Filtersystem kann das MOPS-System ferner zur Feinstaubreduzierung beitragen.

Neben der direkten Emissionsreduzierung hat das MOPS-System auch indirektes Umweltentlastungspotential. So ist das MOPS-System voraussichtlich relativ leicht und kompakt. Anders als bei z.B. Katalysatoren werden keine seltenen Erden verwendet. Insbesondere im Falle, dass bestehende Abgasreinigungselemente substituiert werden können, ist daher davon auszugehen, dass wertvolle Ressourcen bereits bei der Herstellung eingespart werden können. Auch im Betrieb selbst benötigt das System keine Verbrauchsstoffe, wie z.B. AdBlue, und trägt durch die Gewichtseinsparung im mobilen Einsatzbereich zur Verbrauchsreduzierung bei.

Durch die geringeren Entstehungs- und Verbrauchskosten ist der Einsatz der MOPS-Technologie auch wirtschaftlich für die Produzenten und Konsumenten interessant, so dass eine hohe Bereitschaft bestehen sollte, in die Technik zu investieren.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Plasma-Technologie ist generell ein relativ neues und innovatives Anwendungsfeld. Fest etabliert hat sich Plasma im Bereich der Oberflächenbehandlung, aber auch im Umfeld der Medizin gibt es mehr und mehr Anwendungen. In der Regel basieren etablierte Anwendungen auf den chemischen Plasmaprozessen, die jedoch zeitlich für die Abgasbehandlung zu langsam sind. Die direkte Verwendung der bei der Plasmaentladung entstehenden freien Elektronen zur Dissoziation von Molekülen ist nach unserem Kenntnisstand weltweit einzigartig. Der Grund ist, dass es sehr schwierig ist, unter atmosphärischen Bedingungen ein geeignetes, großräumiges und weitgehend homogenes Plasmafeld zu erzeugen.

Der wesentliche Punkt für die Plasma-Abgasbehandlung ist die Dissoziation (Zerstörung) von Schadstoffmolekülen, wie z.B. Stickoxide und Kohlenwasserstoffe, durch Kollisionen mit energetischen Elektronen (im Bereich 3 – 12 eV). Um den Zugriff auf diese Schadstoffmoleküle zu optimieren, ist es essenziell die Energieverteilung der im Plasma erzeugten Elektronen dahingehend zu optimieren, dass sie maximale Effizienz in den Bereichen der Dissoziationsenergien dieser Schadstoffe aufweist. In der Mikrowellentechnik wird ein hochfrequentes, elektromagnetisches Feld erzeugt, welches präferenziell Elektronen beschleunigt und die schweren Ionen kaum beeinflusst. Das Energiespektrum der Elektronen lässt sich (in gewissen Grenzen) kontrollieren, indem die Mikrowellenemission moduliert wird. Auf diese Weise ist es möglich, Energie gezielter in die Dissoziation der Schadstoffe zu leiten. Die Optimierung dieser Technik für den Abgasbereich ist eines der Kernthemen unseres Vorhabens. Dabei spielt die Balance zwischen Zerstörung von z.B. NO (~6 eV) und Erzeugung von NO durch die vorherige Dissoziation von z.B. N₂ → N + N (~ 10 eV) eine entscheidende Rolle.

Ergebnisse und Diskussion

Der identifizierte, physikalische Wirkmechanismus zur Dissoziation von Stickstoffverbindungen konnte im Rahmen des Projektes experimentell bestätigt werden. Die verwendeten Parameter ermöglichen es, die Energie gezielt einzubringen, um einen möglichst hohen Anteil der Stickstoffverbindungen zu dissoziieren. Es konnte jedoch nicht vollständig vermieden werden, dass ein Teil der Energie verloren geht bzw. andere Gasbestandteile dissoziiert. Die während der Dissoziation entstehenden, reaktiven Bestandteile gehen in nachgelagerten chemischen Prozessen neue Verbindungen ein und führen unter anderem zur Bildung von thermischem NO. Für ein reales Abgas konnte eine Netto-NO_x-Reduktion erzielt werden, deren Höhe für ein marktfähiges Produkt jedoch nicht ausreichend ist. Eine weitere Optimierung des Systems ist möglich, erfordert jedoch erhebliche zeitliche und monetäre Anstrengungen.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Im Hinblick auf den frühen Entwicklungsstatus des Projektes wurde noch keine Öffentlichkeitsarbeit durchgeführt.

Fazit

Die ursprünglich gesetzten Ziele konnten nur teilweise erreicht werden. Das geänderte Kosten-Risikoverhältnis und schlechtere Rahmenbedingungen (z.B. geringere Investitionsbereitschaft in der Automobilindustrie) haben dazu geführt, dass das ursprüngliche Vorhaben zunächst nicht weiterverfolgt wird.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	7
1. Zusammenfassung.....	8
2. Kurzbeschreibung des Vorhabens und der Projektziele.....	9
3. Projektfortschritt.....	10
3.1 Testinfrastruktur.....	10
3.2 Versuchsaufbau.....	11
3.3 Theoretische Überlegungen.....	13
3.4 Messergebnisse.....	14
3.5 Materialtests, Oberflächeneffekt.....	16
4. Fazit.....	18
4.1 Beurteilung des bisherigen Business Cases.....	18
4.2 Business Case „Oberflächenbehandlung“.....	20

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aktueller Testaufbau

Abbildung 2: Schematische Darstellung des Testaufbaus

Abbildung 3: Mikrowellengenerator

Abbildung 4: Plasmaquelle Iteration 1, 2 und 2.1

Abbildung 5: Molekülreaktion in Abhängigkeit von der Energie am Beispiel von NO

Abbildung 6: Sättigungsgrenze von Wasser bei unterschiedlichen Temperaturen

Abbildung 7: Messergebnisse bei unterschiedlichen Gaszusammensetzungen

Abbildung 8: Messergebnisse Oberflächenspannung

1. Zusammenfassung

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines kaltplasmabasierten Funktionsmusters mit welchem die effiziente Reduktion von schädlichen Verbrennungsabgasen in einem realitätsnahen Umfeld erfolgreich nachgewiesen werden kann.

Im Rahmen des Projektes wurde der Versuchsaufbau technisch optimiert und in Hinblick auf die Funktionalität und den Automatisierungsgrad erweitert. Neben dem Ausbau der Testinfrastruktur wurde in geeignete Mikrowellentechnologie investiert, mit deren Hilfe eine große Anzahl an Parametern getestet und optimiert werden kann. Die Plasmaquelle wurde eigenständig entwickelt und über mehrere Iterationen stetig verbessert.

Mit Hilfe von reduktionistischen Tests konnten die physikalischen und chemischen Prozesse gut verstanden werden. Die experimentelle Seite wurde durch theoretische Überlegungen ergänzt. In einem einfachen N_2/NO Gemisch konnte bereits nach kurzer Zeit eine vollständige Dissoziation der Stickstoffoxide (NO_x) erreicht werden. In komplexeren Gasen geht ein Teil des Dissoziationspotentials an andere Prozesse verloren, zugleich kommt es, bei verfügbarem Sauerstoff, zu einer NO -Produktion. In einem realitätsnahen Abgasgemisch wurde anfänglich eine NO_x -Netto-Produktion beobachtet. Diese konnte nach kontinuierlichem Fortschritt in eine NO_x -Netto-Reduktion umgewandelt werden. Für ein Funktionsmuster ist die Effektivität jedoch noch nicht ausreichend. Eine weitere Optimierung des Systems ist möglich, die asymptotische Entwicklung der erzielten Verbesserungen legt jedoch nahe, dass das verbleibende Optimierungspotential der bestehenden Ausrüstung für ein marktfähiges Produkt nicht ausreichend ist. Zur Lösung der bestehenden Restriktionen bestehen Ideen für weiterführende Konstruktionen, die jedoch zum Teil auf Zulieferkomponenten angewiesen sind, die im Markt noch nicht verfügbar sind. Der daraus resultierende zeitliche und finanzielle Mehraufwand, dies bei gestiegenem Risiko, fällt zusammen mit der Coronakrise und einer dadurch bedingten größeren Zurückhaltung auf Kunden- und Investorenmenseite.

Im Rahmen der durchgeführten Materialtests wurde beobachtet, dass das entwickelte MOPS-System (Microwave Organized Plasma Source) auch effektiv zur Reinigung und Aktivierung von Oberflächen eingesetzt werden kann. Ob eine kommerzielle Nutzung möglich ist, wird derzeit geprüft. Weiterentwicklungen im Bereich der Emissionsreduzierung werden angesichts der aktuellen Situation in der Automobilbranche zunächst zurückgestellt.

2. Kurzbeschreibung des Vorhabens und der Projektziele

Die terraplasma emission control GmbH (TPec) wurde 2018 gegründet. Im Fokus der Entwicklungsarbeit der TPec steht der erfolgreiche Einsatz von kalten, atmosphärischen Plasmen zur Abgasnachbehandlung von Verbrennungsmotoren und -anlagen. Ziel ist die effiziente Reduktion von schädlichen Verbrennungsabgasen.

Zur Zerstörung von Stickoxiden und anderen, toxischen Abgaskomponenten nutzt die verwendete MOPS-Technologie (Microwave Organized Plasma Source) die physikalischen Prozesse der „Electron-Impact-Dissociation“, des „Dissociative-Attachment“ und der „Dissociative-Ionisation“. Diese physikalischen Prozesse sind ca. 10.000-mal schneller als vergleichbare, chemische Prozesse und ermöglichen dadurch die Dissoziation auch schnell durchströmender Gase bei gleichzeitig kompakter Bauweise. Die Dissoziation von Stickstoffoxiden (NO_x) steht im Zentrum der Entwicklungsarbeit. Weitere Emissionen, wie z.B. Kohlenwasserstoffe, können grundsätzlich ebenfalls aufgespalten und entfernt werden.

Voraussetzung zur Entwicklung eines auf eine konkrete Anwendung hin optimierten, marktfähigen Produktes für Verbrennungsanlagen, z. B. für den Einsatz in Hausanlagen oder im PKW, ist die Verfügbarkeit eines skalierbaren MOPS-Moduls, mit dem unter realitätsnahen Bedingungen, die Netto-Reduktion von schädlichen Emissionen demonstriert werden kann. Die Entwicklung eines solchen skalierbaren Moduls war Ziel des Projektes.

Zur Umsetzung des Projektes wurden vier Arbeitspakete definiert:

1. Materialuntersuchungen
2. Entwicklung der Mikrowellenelektrode / der Plasmaquelle
3. Bilanzierung der physikalischen und chemischen Prozesse
4. Entwicklung eines ersten Funktionsmusters

Die TPec Entwicklungen in der Plasmatechnologie sind patentfähig. Es wurden insgesamt 6 Patente zur Anmeldung eingereicht.

3. Projektfortschritt

3.1 Testinfrastruktur

Um den Einfluss von kaltem, atmosphärischen Plasma auf einfache und komplexe Gasmische analysieren zu können, wurde bereits im Rahmen der Vorarbeiten eine eigenständige Laborinfrastruktur aufgebaut. Hierzu werden synthetische Gasmische aus mehreren Gasflaschen mittels Mass-Flow-Controller dosiert und mit Massenflüssen von 3 bis 300 l/min durch das zu analysierende Plasma-System geleitet. Als Analyseinstrument wurde zunächst ein FTIR- Analysegerät gemietet, welches eine Vielzahl von Gasen simultan und in Echtzeit vor und nach der Plasmabehandlung detektieren kann. In der Zwischenzeit konnte mit einem Analysegerät von MRU, basierend auf chemischen Sensoren und Infrarottechnik, eine kostengünstige Alternative zur Anschaffung eines FTIR-Analysegerätes identifiziert, erprobt und erworben werden. Hierdurch konnte die zeitliche Flexibilität erhöht und die insgesamt für Tests zur Verfügung stehende Zeit erweitert werden.

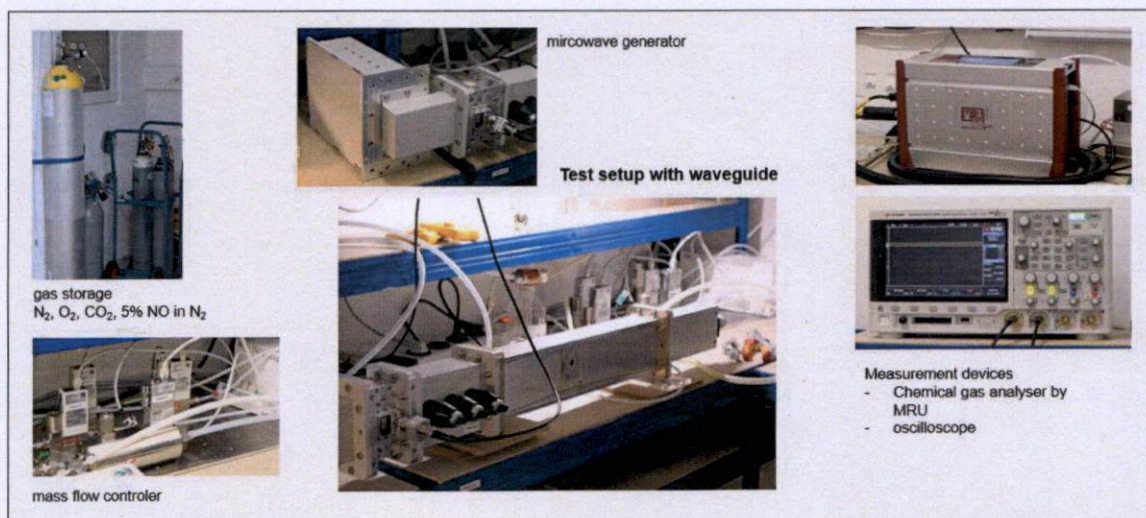


Abbildung 1: Aktueller Testaufbau

In einer zweiten Stufe wurde der Testaufbau um eine Verdampfeinheit und einen Liquid-Flow-Controller ergänzt, um die Dosierung einer definierten Wassermenge zu ermöglichen.

Die zu analysierenden synthetischen Gasmischungen können nun gezielt an reale Abgasemissionen bei verschiedenen Betriebspunkten angepasst werden.

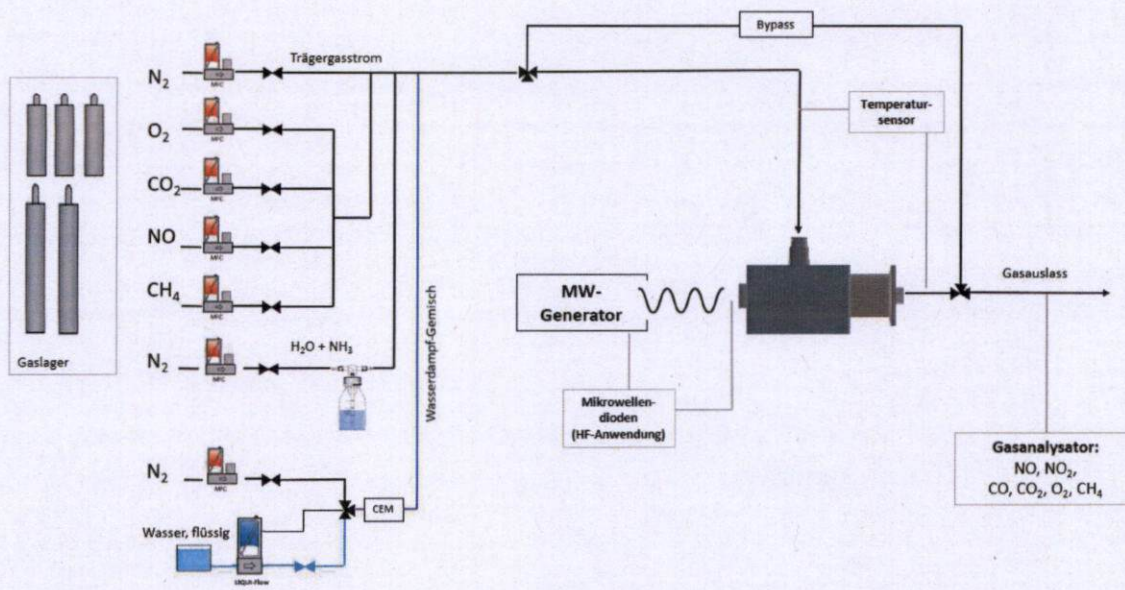


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Testaufbaus

3.2 Versuchsaufbau

Bei der entwickelten MOPS-Technologie wird mittels Mikrowellengenerator eine Plasmaentladung erzeugt. Nach einer anfänglichen Testreihe mit einer auf 150 Watt limitierten Mikrowelle, wurde ein neuer Mikrowellengenerator angeschafft, der deutlich größere Freiheitsgrade bietet. Verschiedene Mikrowellen- und Plasmaparameter können im Detail untersucht werden. Neben der Möglichkeit eines "pulsed mode" ist auch das Leistungsspektrum mit einer maximalen Leistung von 1.100 Watt deutlich erweitert.

Der verwendete Mikrowellengenerator ist ein Prototyp des Zulieferers. TPec steht im engen Dialog mit dem Hersteller, um das Potential der Mikrowelle optimal ausnutzen zu können.

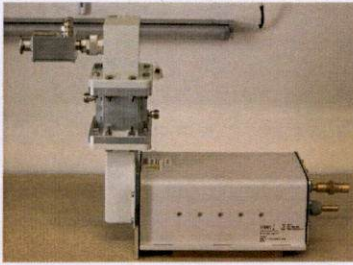


Abbildung 3: Mikrowellengenerator

Zur Plasmaerzeugung wird elektromagnetische Strahlung vom Mikrowellengenerator zur Plasmaelektrode im Frequenzbereich (2,45 GHz (+/- 100 MHz)) geleitet. Eine Helix-Spule liefert mit ihrer 50 Ohm Impedanz das Matching, so dass das Mikrowellenfeld im Quarzröhrchen zur Resonanz kommt und die Entladung ohne zusätzliche Trigger in Gang setzt. Das entstehende Plasma ist räumlich ausgedehnt und besteht aus Elektronen und Ionen. Je nach Parametereinstellung kann die Temperatur und das entstehende Plasma farblich variieren und verfügt über sehr unterschiedliche Charakteristika.

Die in den Tests gewonnenen Ergebnisse fließen direkt in die weitere Entwicklung ein. Die Plasmaquelle 2.0 wurden mit einer zusätzlichen Wasserkühlung konstruiert, um die Temperatur, welche primär die NO-Produktion beeinflusst, senken zu können.



Abbildung 4: Plasmaquelle Iteration 1, 2 und 2.1

Anfänglich hohe Energieverluste (= geringes „Matching“) konnten durch die Feinjustierung des Aufbaus (Plasmaquelle 2.1) signifikant reduziert werden. Ziel ist die von der Mikrowelle eingebrachte Energie möglichst optimal zu nutzen.

3.3 Theoretische Überlegungen

Parallel zur experimentellen Seite wurde ein theoretisches Modell aufgebaut, um den Wirkmechanismus der einzelnen Gase abbilden zu können. Die bei der Ionisation im Plasma entstehenden, zunächst niederenergetischen, Elektronen werden durch das Mikrowellenfeld beschleunigt. Beim Aufeinandertreffen eines Elektrons mit einem Molekül finden, abhängig von der Energie, unterschiedliche Reaktionen statt. Diese lassen sich in die Kategorien: Elastischer Stoß, Vibration, Absorption, Dissoziation und Ionisation einteilen und sind für jedes Molekül unterschiedlich.

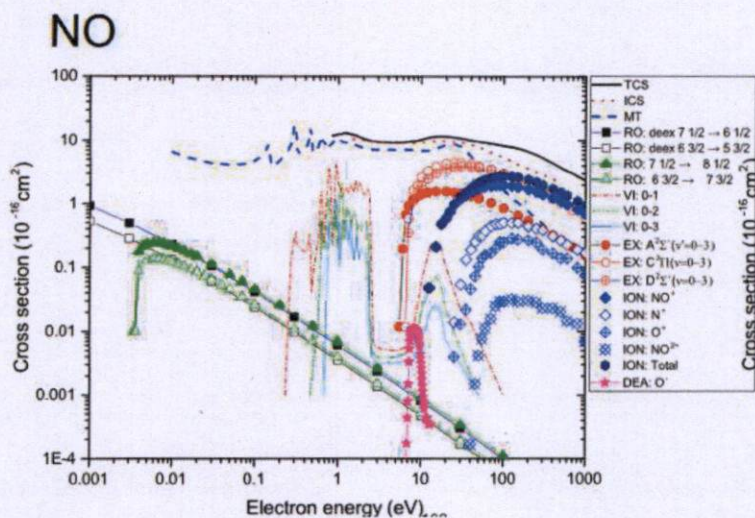


Abbildung 5: Molekülreaktion in Abhängigkeit von der Energie am Beispiel von NO

Je nach Art der Reaktion werden Elektronen „verbraucht“ oder auf ein niedrigeres Energieniveau gebracht. Hierdurch reduziert sich das NO_x-Netto-Reduktionspotential in zweierlei Hinsicht: zum einen stehen die Reaktionen im Wettbewerb, d.h. wenn ein Elektron z.B. ein O₂-Molekül spaltet, steht es für die NO-Dissoziation nicht mehr zur Verfügung. Zum anderen wird die Generierung von neuen Elektronen reduziert, da weniger Elektronen eine für die Ionisation ausreichende Energie erreichen.

Der, im Vergleich zum Benziner, höhere Sauerstoffanteil des Diesels, bewirkt, dass die relevante Elektronenzahl deutlich kleiner ist als beim Benziner. Eine effektive NO_x-Netto-Reduktion ist deshalb bei einer Benziner-Kaltstartanwendung einfacher zu realisieren als bei einer vergleichbaren Dieselanwendung.

Auch der gasförmige Wasseranteil hat einen großen Einfluss auf die NO_x -Netto-Dissoziation. Der Sättigungsgrad von Wasser liegt bei Zimmertemperatur bei ca. 1,5%, deutlich geringer als in einem warmen Abgas. Die Effizienz einer MOPS-Anwendung ist daher umso größer je kälter es ist.

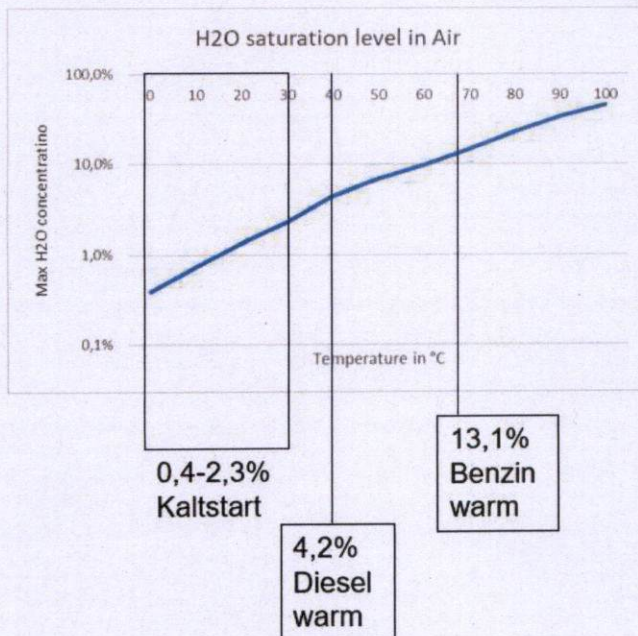


Abbildung 6: Sättigungsgrenze von Wasser bei unterschiedlichen Temperaturen

Das theoretische Modell bildet die beobachteten Werte insgesamt gut ab und liefert Impulse für die Optimierung des Systems.

3.4 Messergebnisse

In mehr als tausend Einzeltests wurden die Parameter systematisch durchgetestet und Veränderungen auf ihre Wirksamkeit hin überprüft. Im ersten Schritt wurde das reine NO -Dissoziationspotential in einem Stickstoff (N_2) / Stickstoffmonoxid (NO) Gasmisch analysiert und optimiert. In diesem Gasmisch findet aufgrund des fehlenden Sauerstoffs keine NO -Produktion statt. Bereits nach kurzer Zeit konnte das eingeleitete NO nahezu vollständig dissoziiert werden. Im Anschluss wurde die Gaszusammensetzung Schritt für Schritt erweitert und einem realitätsnahen Abgas angenähert, um den Effekt jeder Einzelkomponente ermitteln

zu können. Die meisten zusätzlichen Gaskomponenten wirken in zweierlei Hinsicht negativ auf die Netto-Dissoziation von NO_x : einerseits stehen „anderweitig verwendete“ Elektronen für die Dissoziation von NO nicht mehr zur Verfügung, andererseits führen sauerstoffhaltige Komponenten zu thermischer NO -Produktion. In den Tests zeigte sich z.B., dass der negative Effekt von Sauerstoff auf die NO -Netto-Reduktion deutlich stärker ist als bei CO_2 . Die ersten Tests mit einem simulierten Benzin-Mix führten noch zu einer Netto- NO_x -Produktion, die im weiteren Verlauf zwar in eine Netto-Reduktion von NO_x umgewandelt werden konnte, deren Quantität für ein marktfähiges Produkt jedoch noch nicht ausreichend ist.

Insgesamt zeigen die Messergebnisse ein asymptotisches Verhalten, aus dem sich ableiten lässt, dass das Optimierungspotential des bestehenden Systemaufbaus weitestgehend ausgeschöpft ist.

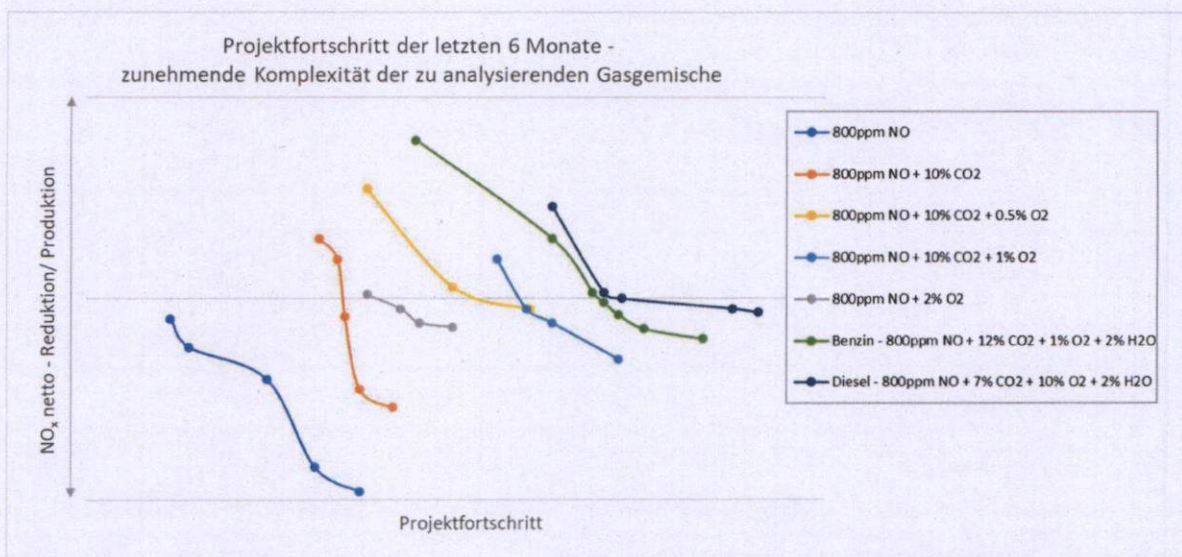


Abbildung 7: Messergebnisse bei unterschiedlichen Gaszusammensetzungen

Je nach Parametereinstellung entsteht ein unterschiedliches Plasma, welches sich nicht nur in der Farbe, sondern auch in seinen Eigenschaften stark unterscheidet. Als besonders wirksam hat sich ein dunkles Plasma herausgestellt, welches in Ansätzen in den Grenzbereichen der Parametereinstellung des Systemaufbaus entsteht. Theoretisch kann dieses Potential und damit die Wirksamkeit des Gesamtsystems noch erheblich ausgeweitet werden, dies erfordert jedoch eine stark modifizierte Mikrowelle, die in Zusammenarbeit mit einem Mikrowellenhersteller zunächst zu entwickeln wäre.

Die bisherigen Tests wurden, um den Gasverbrauch logistisch und wirtschaftlich in einer praktikablen Größenordnung zu behalten, mit einem Durchmesser von 5mm durchgeführt. Der damit korrespondierende Massendurchfluss ist deutlich kleiner als für eine spätere Anwendung notwendig. Als Teil der weiteren Entwicklungsarbeit ist daher auch die Skalierung über die Vergrößerung des Durchmessers bzw. den modularen Aufbau (Parallelschaltung) einzuplanen.

Der bisherige Testaufbau ist darauf ausgelegt, alle Parameter möglichst breit analysieren zu können; Volumen, Gewicht, Stückpreis etc. spielen noch eine untergeordnete Rolle. Für ein Funktionsmuster sind zumindest erste Überlegungen in diese Richtung relevant.

3.5 Materialtests, Oberflächeneffekt

Die im Rahmen des Arbeitspaketes „Materialuntersuchungen“ durchgeführten Materialtests ergaben, neben den beabsichtigten Ergebnissen zur Eignung für ein Funktionsmuster, auch Erkenntnisse zur Wirkung des Plasmas auf die jeweiligen Werkstoffe. Das hochreaktive Plasma initiiert eine Vielzahl von physikalischen und chemischen Prozessen beim Kontakt mit verschiedenen Oberflächen. Organische Verunreinigungen werden von der Oberfläche entfernt, ein Effekt der sowohl für die Vorbehandlung von Materialien als auch z.B. für die Sterilisation von Materialien relevant ist. Neben diesem Reinigungseffekt wird die mechanische Mikrostruktur der Oberfläche modifiziert und polare chemische Gruppen in die Oberfläche eingebracht. Hierdurch wird die Oberfläche „aktiviert“, d.h. der polare Anteil der Oberflächenspannung wird erhöht. Unterschiedliche Materialien lassen sich genau dann optimal zusammenfügen, wenn ihre Oberflächenspannungen vergleichbar sind. Durch die Harmonisierung der Oberflächenspannungen der beteiligten Materialien können z.B. die Verklebe- und Beschichtungseigenschaften der Materialien in Produktionsprozessen verbessert werden. Als bekanntes Beispiel sei an dieser Stelle exemplarisch die wasserbasierte Lackierung genannt.

Auf Basis erster Tests aktiviert das MOPS-System alle gemessenen Materialien (Metalle, Kunststoffe, Keramik) zuverlässig und erreicht auch für schwer aktivierbare Materialien, wie z.B. Teflon, eine hohe Oberflächenspannung. Die ermittelte Aktivierungsfähigkeit des MOPS-Systems liegt i.d.R. über den in der Literatur beschriebenen Vergleichswerten.

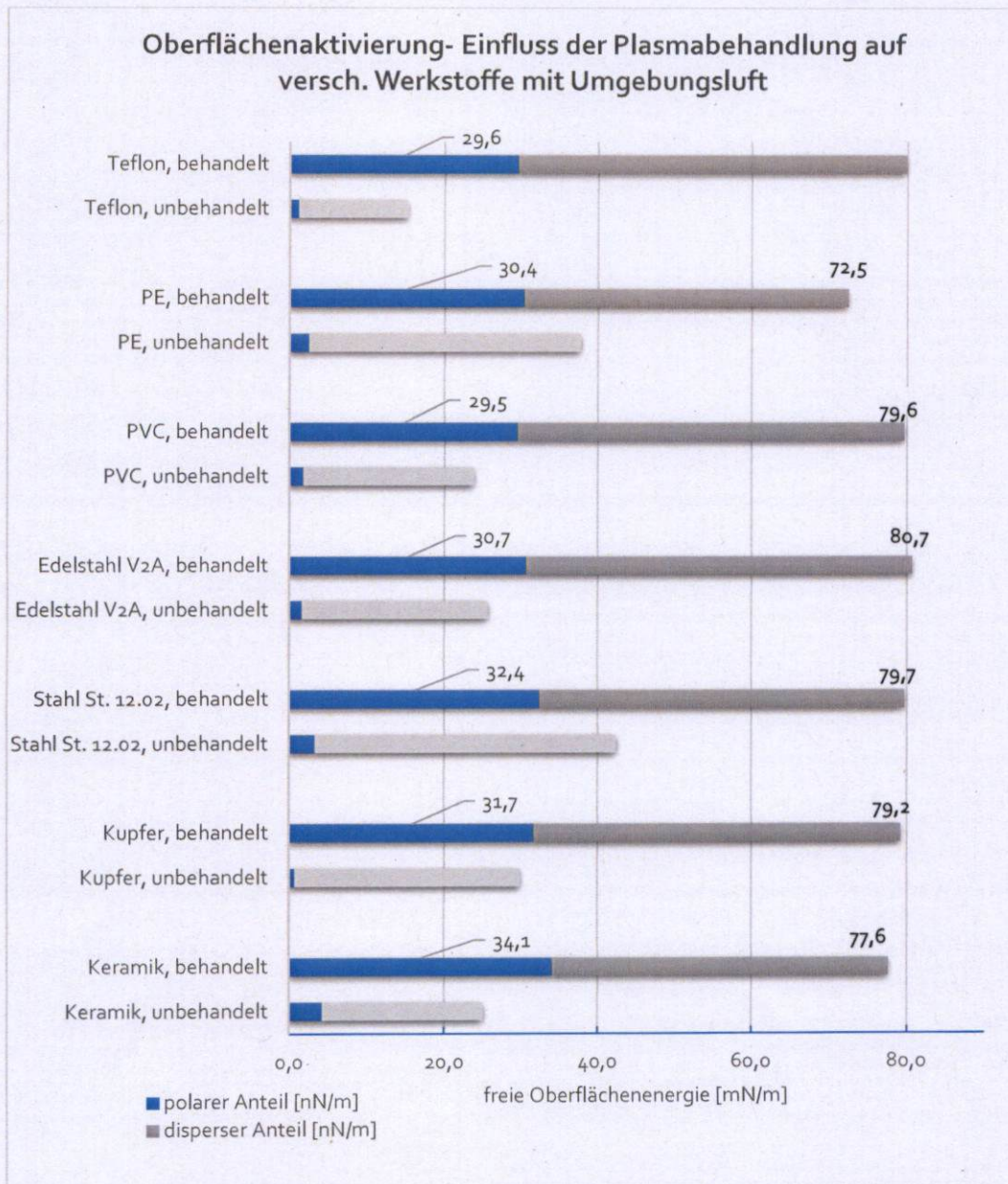


Abbildung 8: Messergebnisse Oberflächenspannung

Für die Berechnung der Oberflächenenergie wurde die OWRK Methode verwendet.

4. Fazit

Die bisherigen Tests, Analysen und gewonnenen Erkenntnisse unterstreichen zwar das grundsätzliche Potential der MOPS-Technologie zur Emissionsreduzierung in Verbrennungsanlagen, zeigen zugleich aber auch das hohe technische und wirtschaftliche Risiko auf. Der Entwicklungsfortschritt verläuft asymptotisch auf eine Grenze zu, die für ein Funktionsmuster bzw. spätere Anwendungen nicht ausreichend ist. Zugleich leiten sich aus den beobachteten Daten und theoretischen Überlegungen Ansätze ab, die auf weiteres Optimierungspotential mit einem veränderten Test Set-Up deuten, ohne das sich dessen Höhe exakt quantifizieren ließe. Die notwendige Zeitleiste für die Entwicklung eines Funktionsmusters ist daher deutlich länger als in der ursprünglichen Zeitleiste vorgesehen, dies bei höherem Finanzbedarf und höherem Risiko.

4.1 Beurteilung des bisherigen Business Cases

„Kaltstartanwendung Benzin-/Hybridmotoren“

Primäres Anwendungsfeld für eine Kaltstartanwendung für Benzinmotoren wäre der PKW-Markt, der neben reinen Benzinmotoren auch die meisten Hybridmodelle umfasst. Neben dem PKW-Markt sind z.B. Sportbote zu nennen.

Benzinmotoren verfügen mit geregelten Drei-Wege-Katalysatoren bereits heute über eine sehr effiziente Abgasreinigung, die jedoch in den ersten ca. 7 Sekunden, der Kaltstartphase, noch nicht greift. In dieser kurzen Zeitspanne emittieren Benzinmotoren einen Großteil der Schadstoffe. Es zeichnet sich ab, dass die Automobilindustrie diese Problematik primär mit „Thermal Management“ adressiert, d.h. mit der Bestrebung die Kaltstartphase deutlich zu reduzieren. Die MOPS-Technologie funktioniert ohne Zeitverzögerung stellt jedoch eine zusätzliche Komponente der Abgasreinigung dar.

„Dieselmotoren“

Der im Vergleich zu Benzinmotoren deutlich höhere Sauerstoffanteil bei Dieselmotoren reduziert, aufgrund der stattfindenden molekularen Reaktionen, die Anzahl der für die Dissoziation nutzbaren Elektronen. Eine Dieselanwendung ist folglich schwerer zu realisieren als eine Benzinanwendung. Die Abgasnachbehandlung von Dieselmotoren ist, insbesondere in der Automobilindustrie, bereits heute sehr komplex und kostspielig. Die Problematik der

hohen Kaltstartemissionen wird auch beim Diesel mit „Thermal Management“-Systemen adressiert. Eine MOPS-Dieselanwendung zielt neben der Emissionsreduktion beim Diesel auch auf die Substitution von bestehenden Abgasreinigungskomponenten ab, die sowohl bei der Entstehung als auch beim Verbrauch ein wirtschaftliches und ökologisches Potential bieten würde. Der potenzielle Markt beschränkt sich nicht auf den PKW-Bereich, sondern umfasst, mit vergleichbaren Konzepten auch LKWs, Off-Road-Fahrzeuge und Schiffe sowie stationäre Motoren.

„Private Heizungen“

Die Abgaszusammensetzung von Öl- und Gasheizungen liegt, in Bezug auf die nutzbaren Elektronen, von der Schwierigkeit her zwischen Benzin- und Dieselmotoren. Eine stationäre Anwendung stellt, im Vergleich, geringere Anforderungen an Gewicht und Volumen als eine mobile Anwendung. Dem gegenüber steht das bereits heute relativ geringe Schadstoffniveau, welches eine weitere Reduktion erschwert.

Eine Anwendung für Gasanlagen ist aus heutiger Sicht nicht möglich. CO₂ außenvorgelassen, beschränken sich die schädlichen Abgase von Gasverbrennung mit hoher Reinheit auf geringe Konzentrationen von NO_x und CO, so dass auch in einem optimierten System die unerwünschten Nebeneffekte das Dissoziationspotential voraussichtlich übersteigen würden.

Wirtschaftliche Gesichtspunkte

In den vergangenen Monaten hat die Automobilindustrie deutliche Fortschritte im Bereich des „Thermal Managements“ erzielt, mit dessen Hilfe die hohen Kaltstartemissionen reduziert werden sollen. Verbesserte technische Lösungen stehen kurz vor der Serienreife. Als Resultat hat die Bereitschaft der Industrie, in alternative Technologien zu investieren, erkennbar abgenommen.

Neben der technischen Realisierbarkeit ist eine kurze „Time to Market“ für die TPec erfolgskritisch. Auf Basis der bisherigen Entwicklungsergebnisse ist von einer deutlich verlängerten Zeitleiste auszugehen, dies bei gestiegenem Risiko.

Diese von beiden Seiten verschlechterten Rahmenbedingungen treffen zusammen mit einer generellen Investitionszurückhaltung des privaten Sektors in der Corona Krise.

Vor diesem Hintergrund wurde in der letzten Beiratssitzung entschieden, die Weiterentwicklung des MOPS-Systems zur Emissionsreduktion bis auf weiteres auszusetzen.

4.2 Business Case „Oberflächenbehandlung“

Im Rahmen der durchgeführten Materialtests wurde beobachtet, dass das entwickelte MOPS-System effektiv zur Reinigung und Aktivierung von Oberflächen eingesetzt werden kann. Die ermittelte Wirksamkeit liegt i.d.R. über den in der Literatur beschriebenen Vergleichswerten.

Herkömmliche Plasmajet-Verfahren basieren überwiegend auf Gleichstromentladungen. Das mikrowellenbasierte MOPS-System arbeitet dagegen potentialfrei und bei deutlich geringeren Temperaturen und ermöglicht damit auch die Behandlung temperatur- und spannungssensitiver Materialien.

Ob eine kommerzielle Nutzung möglich ist, ist derzeit in Prüfung.

Wir bedanken uns sehr herzlich bei der DBU für die erhaltenen Fördermittel und das uns entgegengebrachte Vertrauen.

Das TPec Team