

Thermomanagement für Niedrigstemissionskonzepte moderner Antriebe; Der elektrisch heizbare Katalysator

Thermal Management for Low Emission Concepts of modern Engines; The electrically heated Catalyst

Rolf Brück, Roman Konieczny
Emitec GmbH, Lohmar

Zusammenfassung

Zukünftige Niedrigstemissionskonzepte stellen höchste Anforderungen sowohl an das Rohemissionsverhalten der Motoren als auch an die Funktion und Effektivität der Abgasnachbehandlung. Gleichzeitig wird die katalytische Abgasreinigung durch stetig sinkende Abgastemperaturen zunehmend erschwert, so dass schon heute vielfach Maßnahmen zur aktiven Beeinflussung der Temperatur in der Abgasanlage ergriffen werden müssen. In der Regel sind dies motorische Maßnahmen. Durch die zunehmende Elektrifizierung der Fahrzeuge und die Einführung rekuperativer Energierückgewinnung erschliessen sich aber auch neue Perspektiven für die elektrische Beheizung. Besonders vorteilhaft erscheint dabei die Möglichkeit, die Energie gezielt an der jeweiligen Katalysatorkomponente einzubringen und zugleich effektiv regeln zu können. Auch energetisch können unter diesen neuen Voraussetzungen je nach Applikation Vorteile generiert werden.

Summary

Future lowest emission concepts mark demands to highest requests to the raw emission behaviour of the engines and to the function and efficiency of the after treatment. Simultaneously the catalytic after treatment is hindered by continuous reduced exhaust temperatures, so that even today in many cases methods for active influence of the temperature in the exhaust system are necessary. These are normally engine heating methods. Through the increasing electrification of vehicles and the adoption of recuperative energy recovery there is also the possibility to develop new prospects for electrical heating. It appears to be especially advantageously to utilize the energy directly at the respective catalyst component and to control effectively at the same time. Under these circumstances it is possible to generate also energetic advantages depending on the application.

1 Einführung

Die Ursprünge der Entwicklung des elektrischen heizbaren Katalysators gehen auf die Zeit der Einführung der amerikanischen ULEV-Gesetzgebung zurück. Die damals drastisch verschärften Grenzwerte vor allem hinsichtlich der Kohlenwasserstoff (HC) Emission, konnten nur durch eine deutliche Verkürzung der Light-Off Phase des Katalysators erfüllt werden. Eine Möglichkeit dazu war die elektrische Beheizung des Katalysatorträgers. Letztendlich entstand aus der gemeinsamen Entwicklung eines Arbeitskreises der deutschen Automobilindustrie und Emitec der elektrisch beheizbare Katalysator EmiCat. In Serie wurde er zunächst beim Alpina B12 und anschließend im BMW 750 i eingesetzt [1,2]. In der Folge wurden jedoch recht schnell Alternativen wie motorische Katalysatorheizmaßnahmen und motornahe Katalysatorsysteme entwickelt, die den Heizkatalysator wieder überflüssig machten.

In der Zwischenzeit ist neben der Einhaltung der Abgasgrenzwerte vor allem die Realisierung geringer CO₂-Emissionen und damit niedriger Kraftstoffverbräuche in den Fokus der Entwicklung gelangt. Die in der Folge stetig zunehmenden Wirkungsgrade moderner Motoren führen damit, in erster Linie beim Dieselmotor, zu einer drastischen Abnahme der Abgastemperaturen. Diese sind inzwischen auf einem Niveau angelangt, das, abhängig von Applikation, Lastzustand und Abgasnachbehandlungstechnologie, eine ‚künstliche‘ Energiezufuhr erfordert, um die notwendigen Effektivitäten zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte zu erreichen [3]. Dabei bietet der elektrisch beheizbare Katalysator aufgrund der veränderten Randbedingungen hinsichtlich der Fahrzeugarchitektur (Verfügbarkeit elektrischer Energie, Rekuperation etc.) sowie der inzwischen stark vereinfachten elektronischen Komponenten wieder eine interessante Alternative zu rein motorischen Maßnahmen. Allerdings ist auch hier in erster Linie die Frage nach der Energieeffizienz zu stellen, d.h. wie effektiv wird die in Form von Kraftstoff eingesetzte Energie tatsächlich zunächst in Strom und dann in Wärme am Katalysator umgesetzt. Dies, vor allem auch im Vergleich zu, inzwischen, konventionellen motorischen Maßnahmen zu bewerten ist Zielsetzung des folgenden Kapitels.

2 Thermisches Verhalten in der Abgasanlage

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, wurde der elektrische Katalysator nach einem kurzen Gastspiel in ottomotorischen Anwendungen wieder durch die Einführung von motorischen Katalysatorheizmaßnahmen verdrängt. Daher wurde zur Bewertung der Energieeffizienz der beiden Systeme eine aktuelle Otto-Motor-Applikation herangezogen.

Beim Otto-Motor verhält es sich in der Regel so, dass der Katalysator bereits nach sehr kurzer Zeit katalytisch aktiv sein muß, um die Emissionswerte vor allem hinsichtlich HC einhalten zu können. Zusätzlich liegt die Light-Off Temperatur des 3-

Wege-Katalysators (TWC) auf einem deutlich höheren Niveau als die eines Diesel Oxidations Katalysators (DOC). Dies bedeutet, dass dem Katalysator für einen begrenzten Zeitraum eine hohe Energie zugeführt werden muß. Im weiteren Betrieb sind üblicherweise keine Heizmaßnahmen mehr notwendig. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Temperaturen vor Katalysator mit und ohne motorische Heizmaßnahmen sowie den daraus resultierenden Energiebedarf.

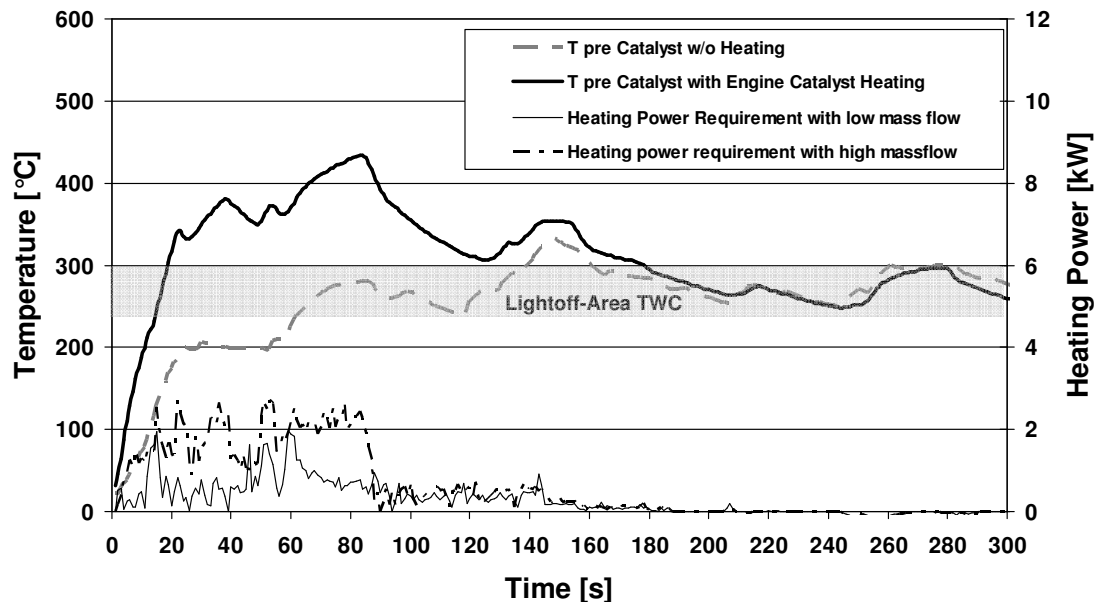


Abb. 1 : Temperaturen vor Kat am Ottomotor mit und ohne motorische Heizmaßnahmen

Im Falle der motorischen Heizmaßnahmen kann die Verbrennung über unterschiedliche Parameter wie z.B. Zündzeitpunkt beim Benzinmotor oder Einspritzzeitpunkt beim Dieselmotor künstlich verschlechtert werden um damit höhere Abgastemperaturen zu erzeugen. Eine weitere Maßnahme ist, durch besonders späte Einspritzung eine Verbrennung im Abgas herbeizuführen und somit die Energie des Kraftstoffes in Wärme umzuwandeln. Dies kann allerdings je nach Lastpunkt zu einer Erhöhung der Rohemissionen führen, wodurch in Abhängigkeit der Randbedingungen das Verfahren nur eingeschränkt nutzbar ist. Um die zugeführte Energiemenge weiter zu erhöhen, wird zusätzlich die Motordrehzahl angehoben und damit der Massenstrom durch den Motor und durch den Katalysator deutlich erhöht, zum Teil nahezu verdoppelt. Damit wird einerseits die Aufheizung des Systems deutlich beschleunigt, andererseits aber auch die benötigte Kraftstoffmenge zur Erreichung eines bestimmten Temperaturniveaus weiter erhöht.

Die so eingebrachte motorische Temperaturerhöhung muß nun noch bis zu den verschiedenen Katalysatoren transportiert werden. Speziell im Kaltstart spielt daher die Position und somit die thermische Masse der vorgelagerten Komponenten eine entscheidende Rolle.

Im Vergleich dazu kann bei der elektrischen Beheizung des Katalysators die Energie direkt am Katalysator eingebracht werden, wodurch die vorgenannten Verluste vermieden werden können. Weiterhin muß nur der Massenstrom aufgeheizt werden, der für den Betrieb des Motors und die Bereitstellung der geforderten Antriebsleistung tatsächlich notwendig ist, was den Energiebedarf deutlich reduziert (Abbildung 1). Allerdings muß die elektrische Energie im schlechtesten Fall zunächst über die Lichtmaschine aus der mechanischen Energie des Motors, unter Berücksichtigung der entsprechenden Wirkungsgrade, gewonnen werden. Abbildung 2 zeigt die prinzipiellen Energieströme bei motorischen Heizmaßnahmen sowie bei elektrischer Beheizung.

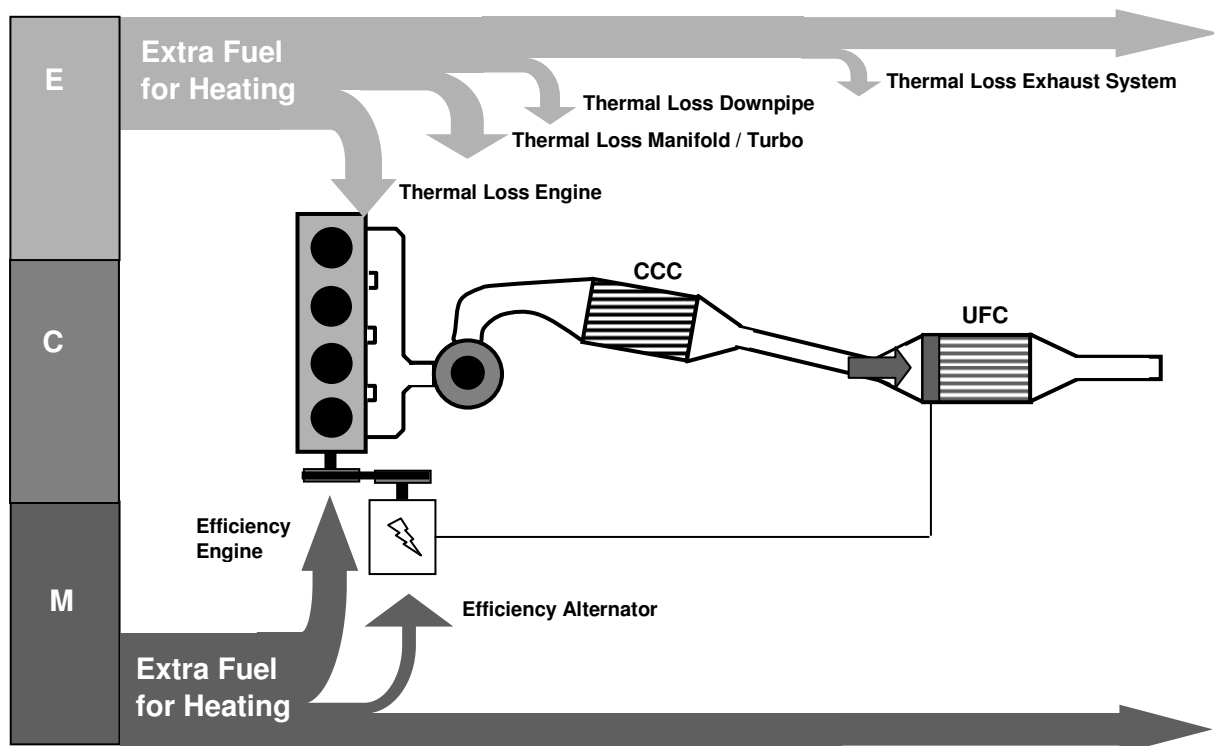


Abb. 2: Energieströme bei motorischem Heizen sowie bei elektrischer Beheizung

Zur Bewertung der beschriebenen Verluste wurde eine Applikation mit direkt einspritzendem, turboaufgeladenem Ottomotor untersucht, die mit einem Unterboden-Katalysator ausgerüstet war.

2.1 Motorisches Katheizen

In Abbildung 3 ist die aufgewendete Kraftstoffmenge sowie der daraus resultierende theoretische Energieinhalt des Kraftstoffs ohne Wirkungsgradverlust dargestellt. Für den Kaltstart relevant ist jedoch die Energiemenge, die innerhalb eines gewissen Zeitraumes an der aufzuheizenden Komponente zur Verfügung steht. Der sich aus dem Vergleich der beiden Energiemengen ergebende Wirkungsgrad beschreibt die Effizienz der Katheizmaßnahme im Hinblick auf die eingesetzte Kraftstoffmenge.

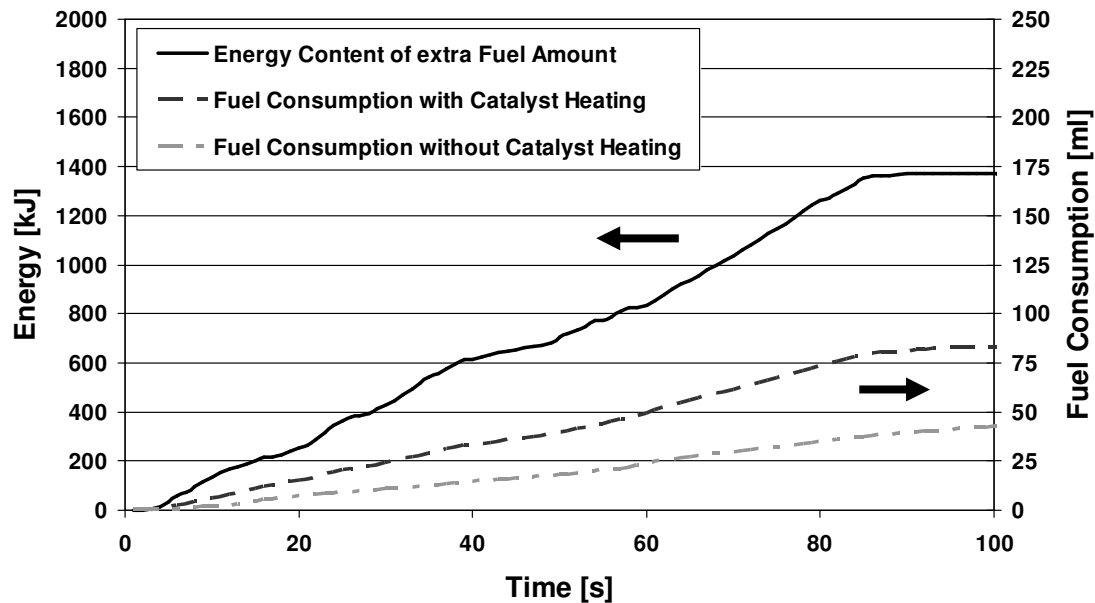


Abb. 3: *Eingesetzte Kraftstoffmenge und theoretischer Energieinhalt bei motorischem Katheizen*

Für diesen Vergleich wurde die Differenz der Abgasenergie an verschiedenen Positionen im Abgassystem aus den jeweiligen Temperaturen des Abgases mit und ohne Katheizmaßnahme ermittelt. Im Falle des motorischen Heizens ist hierbei zusätzlich die Differenz der Massenströme mit und ohne Katheizmaßnahme zu berücksichtigen.

Die Energiemengen wurden entsprechend Abbildung 4 für einen Zeitraum von 100s nach Motorstart betrachtet, wodurch sich auch die Effekte des Aufheizens von thermischer Masse in Motor und Abgassystem als temporäre Verluste im Ergebnis niederschlagen.

$$Q_1 = \int_{t=0}^{100} \dot{m}_1 c_p(T) (T_1(t) - T_0) dt$$

$$Q_2 = \int_{t=0}^{100} \dot{m}_2 c_p(T) (T_2(t) - T_0) dt$$

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2$$

Abb. 4: *Berechnung der Abgasenergie anhand von Massenstrom und Temperatur*

Abbildung 5 zeigt die Energiemenge, die in das Abgas über die motorischen Heizmaßnahmen eingebracht wurde. Sie bezieht sich auf den Vergleich der Abgastemperaturen vor Turbolader. Ein Vergleich der Energiemengen zeigt, dass nur etwa 40 % des eingesetzten Kraftstoffs als Abgastemperaturdifferenz an der Position Turbolader ankommen.

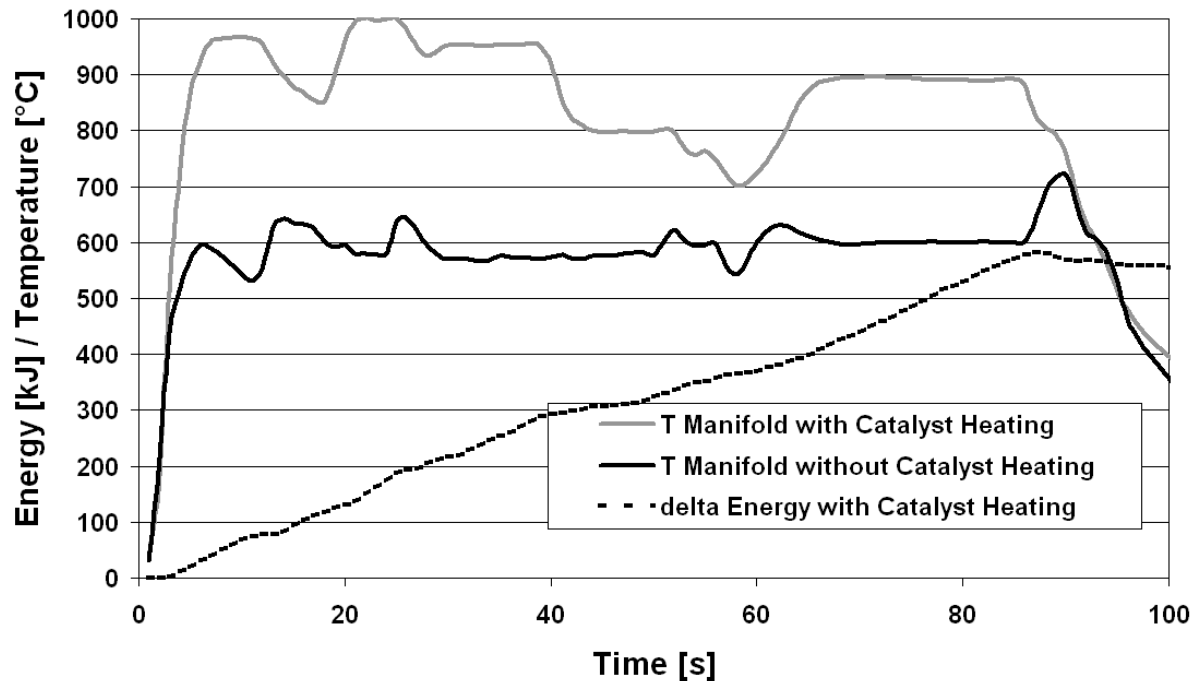


Abb. 5: Über motorische Katheizmaßnahmen eingebrachte Energiemenge vor Turbolader

Im nächsten Schritt wurde untersucht, wie sich der Energiefluß im weiteren Verlauf der Abgasanlage verhält. In Abbildung 6 ist die Energiemenge in Abhängigkeit der Zeit an der Position vor Katalysator dargestellt.

Man erkennt, dass nach 100s nur noch etwa 300kJ am Katalysator angekommen sind. Das bedeutet, dass von der ursprünglich eingebrachten Energie nur etwa ein Viertel effektiv zum Aufheizen des Katalysators genutzt wird. Hinzu kommt, dass von dieser Energie wiederum ein erheblicher Anteil dazu genutzt werden muß, den zusätzlichen Massenstrom während des motorischen Katheizens zu erwärmen.

Abbildung 7 zeigt die entsprechenden Energieverluste auf dem Weg vom Kraftstoff zum Katalysator und damit den Anteil der eingebrachten chemischen Energie der tatsächlich als Wärme am betrachteten Katalysator ankommt.

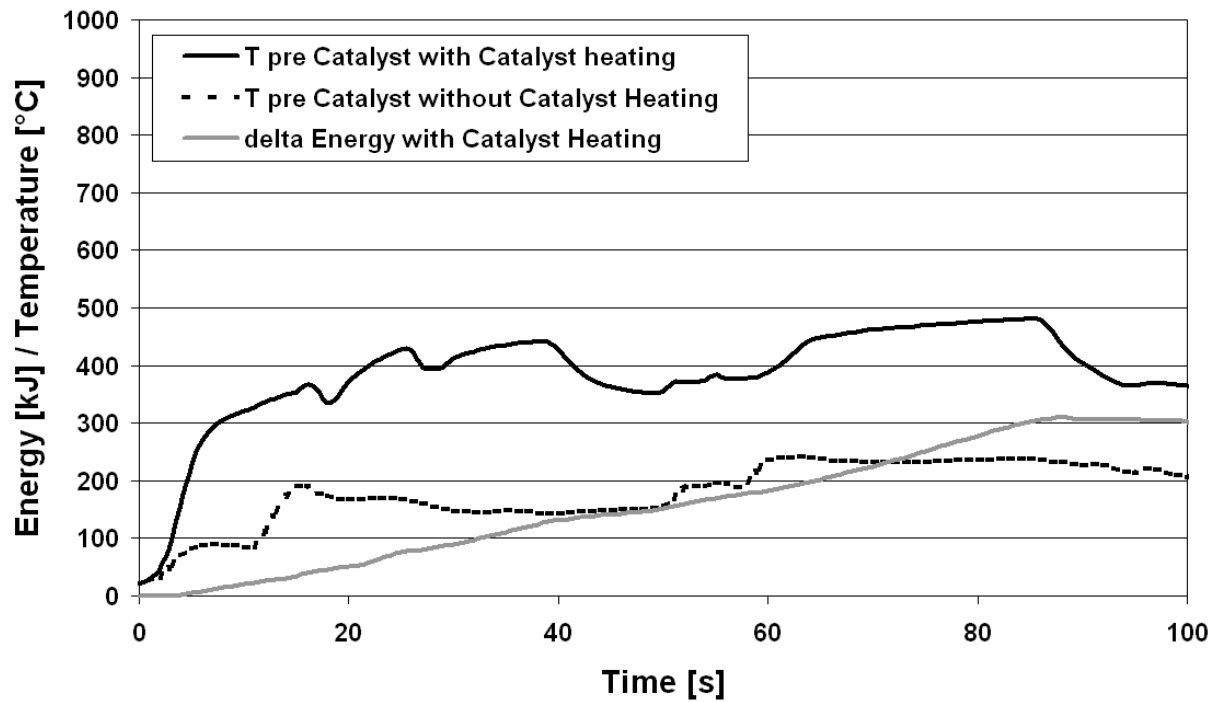


Abb. 6: Über motorische Katheizmaßnahmen eingebrachte Energiemenge vor Katalysator

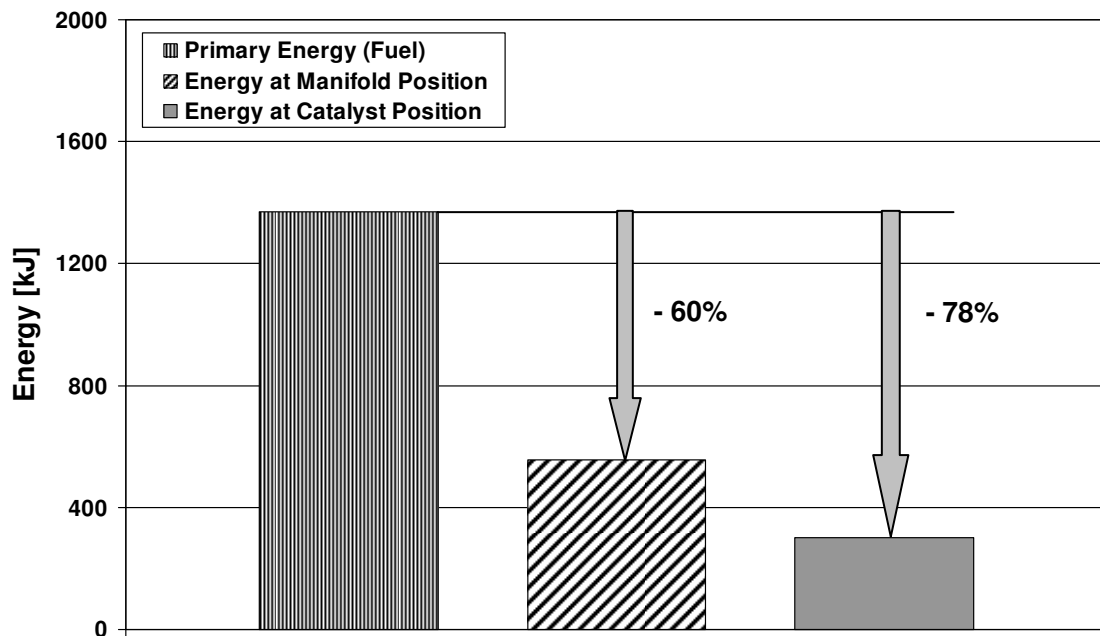


Abb. 7: Umwandlungseffizienz chemischer Energie in Abgaswärme bei motorischem Katheizen innerhalb der ersten 100s

2.2 Elektrisches Katheizen

Um eine reale Vergleichsbasis für die Ermittlung der notwendigen Heizenergien zu haben, wurde das System mit Heizkatalysator mit einer elektrischen Leistung von 1800 W so lange bestromt, bis mindestens die gleichen Tailpipe-Emissionen wie mit konventioneller Katheizstrategie erreicht wurden, in diesem Fall 80s. Das Verhältnis der jeweiligen Tailpipe Emissionen sind in Abbildung 8 dargestellt.

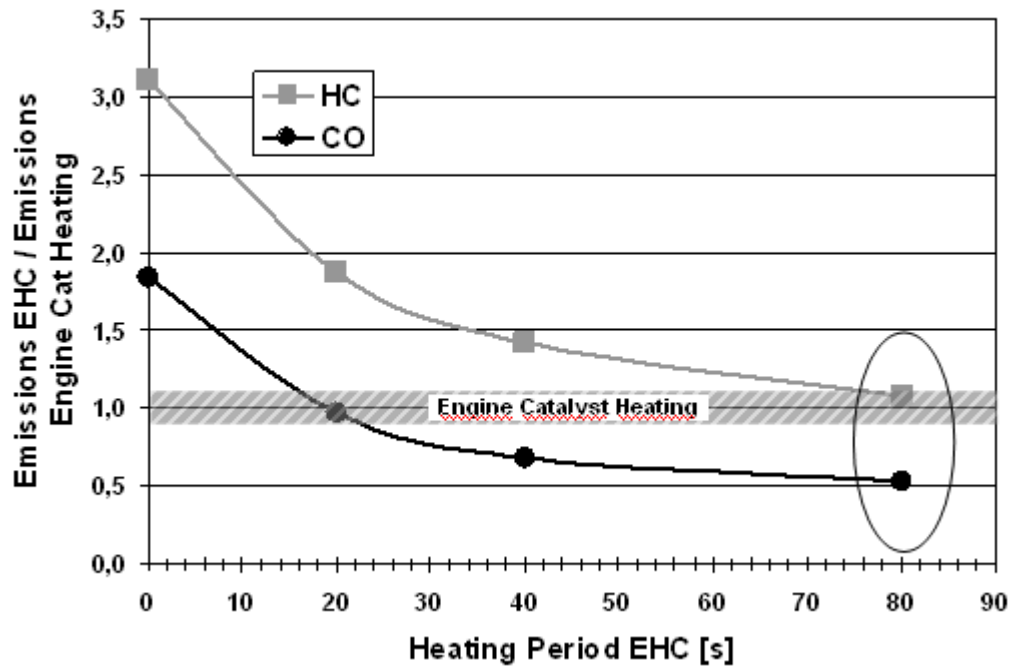


Abb. 8: Verhältnis der Tailpipe Emissionen mit motorischen Katheizmaßnahmen und mit Heizkat als Funktion der Heizdauer (1.8 kW)

Führt man eine ähnliche Betrachtung der erforderlichen Energien für die elektrische Beheizung durch, so ist eine genaue Kenntnis der beteiligten Wirkungsgrade notwendig. Dies ist zum Einen der Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors selbst, d.h. der Anteil der chemischen Energie, der in mechanische Arbeit umgesetzt wird, zum Anderen der Wirkungsgrad des Generators zur Umwandlung der mechanischen Energie in elektrische Energie. Beide Wirkungsgrade hängen entscheidend vom betrachteten Lastpunkt ab und müssen somit als Kennfeld zur Verfügung stehen, um eine genaue Aussage machen zu können. Weiterhin sind etwaige Leitungsverluste zu berücksichtigen. Für diese Energiebetrachtung wurde ein Simulationsmodell verwendet, das die komplette Fahrzeugstruktur mit allen zu berücksichtigenden Wirkungsgraden und Verlusten abbildet. Die Simulation der Referenzfälle mit und ohne motorisches Katheizen ergab eine sehr gute Übereinstimmung, so dass die ermittelten Ergebnisse mit elektrischer Beheizung eine gute Abschätzung darstellen sollten.

Abbildung 9 zeigt die Temperaturen am Katalysator mit den unterschiedlichen Heizverfahren. Im Wesentlichen kann mit der elektrischen Beheizung ein ähnliches

Temperaturniveau erzielt werden wie mit motorischem Katheizen, obwohl eine wesentlich geringere Leistung zur Verfügung steht. Dies resultiert vor allem aus dem niedrigeren Massenstrom im Vergleich zur Variante mit motorischem Katheizen.

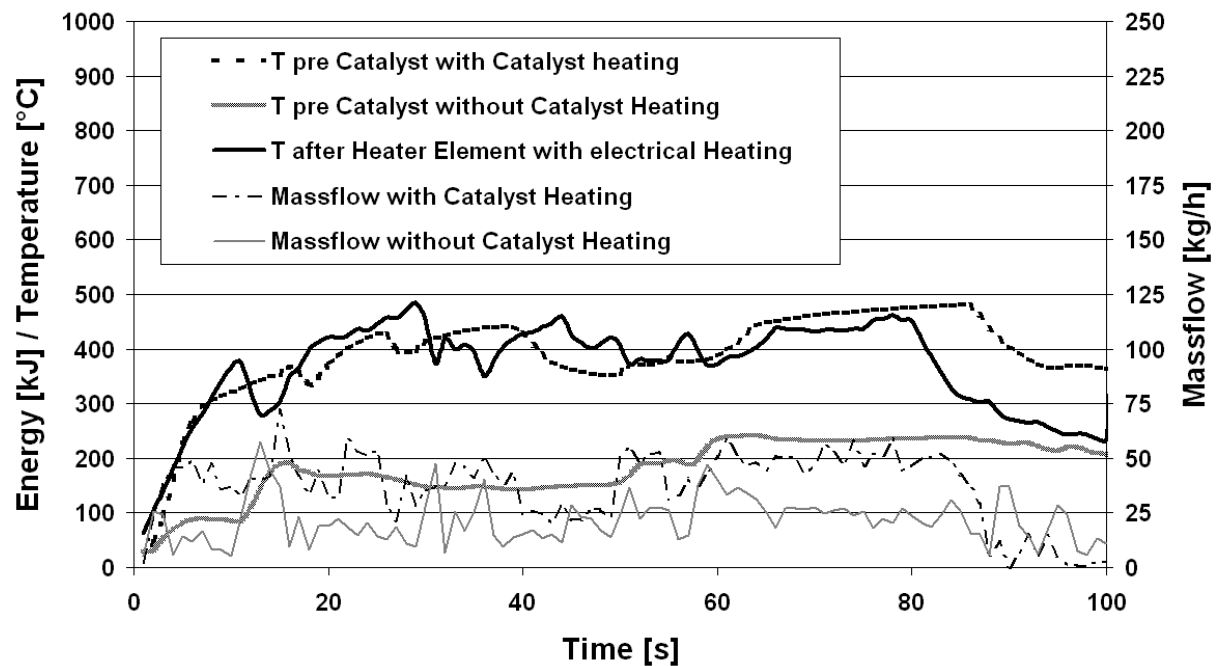


Abb. 9 : Temperaturen und Massenströme am Katalysator mit unterschiedlichen Heizverfahren

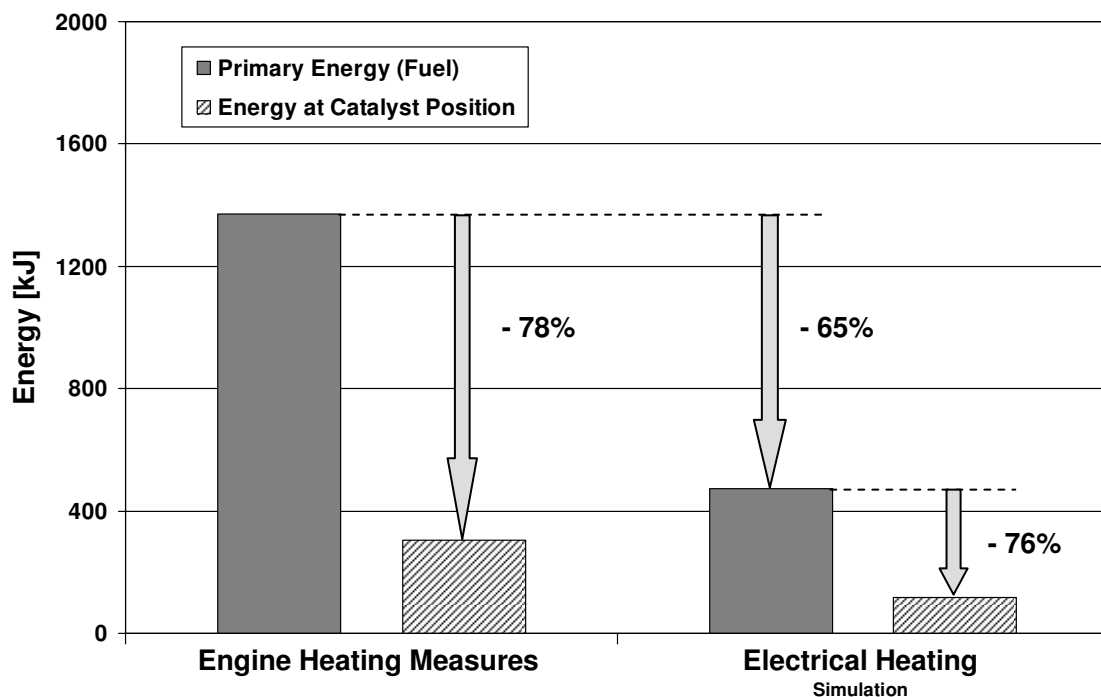


Abb. 10: Vergleich eingesetzter Primärenergie und resultierender Energie am Katalysator in den ersten 100s für identisches Emissionsniveau mit beiden Heizverfahren

Das bedeutet, dass beim motorischen Heizen im Vergleich zum ungeheizten Betrieb nicht nur das dT dem normalen Massenstrom zuzuführen ist, sondern weiterhin der zusätzliche Massenstrom komplett aufgeheizt werden muß. Beim elektrischen Heizen wird die elektrische Heizenergie direkt der Katalysatorstruktur zugeführt wodurch keine thermischen Verluste z.B. durch das Aufheizen der Abgasrohre auftreten. Da die Katalysatorstruktur selber als Heizstruktur ausgeführt ist hat die Struktur (relevant für die Katalyse) bei aktiver Heizung eine höhere Temperatur als das Abgas.

Damit wird beim motorischen Heizen zum Erreichen einer definierten Katalysatortemperatur ein fast dreimal so hohes Energieniveau notwendig wie im Fall des elektrischen Beheizens. Das führt letztendlich dazu, dass bei vergleichbaren Wirkungsgraden ein um $2/3$ geringerer Einsatz an Primärenergie notwendig ist (Abbildung 10).

Damit erscheint der Emicat in modernen Fahrzeugarchitekturen energetisch als durchaus sinnvoll. Es verbleibt die Frage nach den Kosten. Die aufwendige Konstruktion und Fertigung des EmiCat bedingt zunächst höhere Substratkosten im Vergleich zum Standardkatalysator. Zusätzlich sind weitere Aufwendungen für die Integration des EmiCat in die elektrische Architektur des Fahrzeugs notwendig. Durch die deutliche Erhöhung der Effektivität ergeben sich jedoch an anderer Stelle Potentiale zur Kompensation, so z.B. bei Katalysatorvolumen oder Edelmetallbeladung. Schlussendlich müssen Einflüsse auf die CO_2 -Emission, die sich aus der Systemoptimierung ergeben, ebenfalls gegen gerechnet werden. Abbildung 11 zeigt den Vergleich der Systemkosten am Beispiel einer PKW-DOC-Applikation. Grundlage für die Berechnung ist ein DOC-Volumen von 1.5 l bei einer Beladung von $120g/ft^3$.

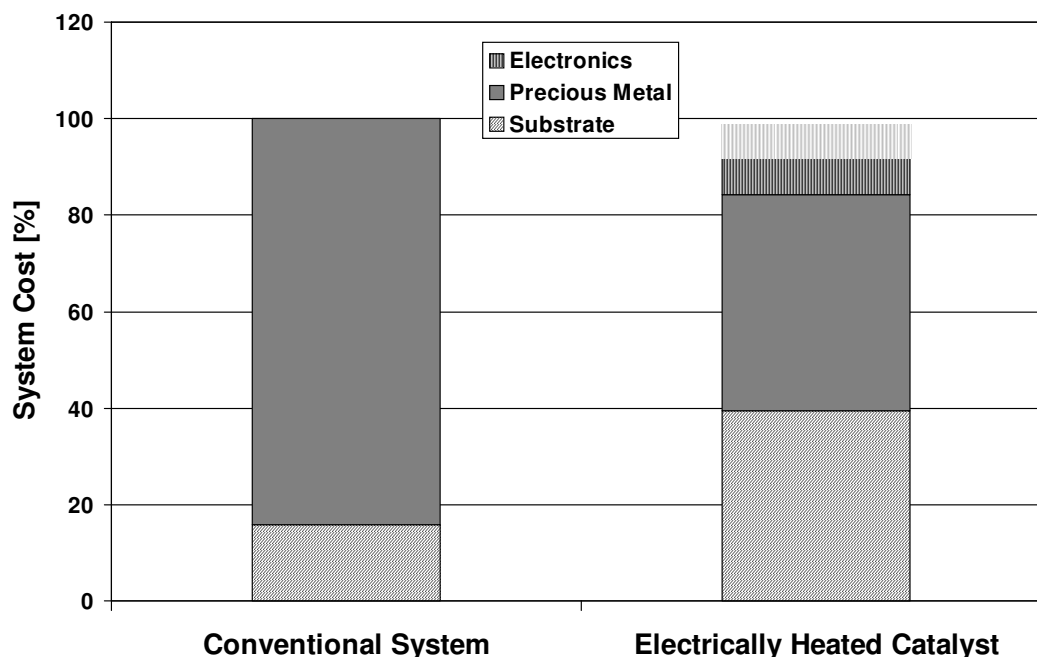


Abb. 11 : Vergleich der Systemkosten am Beispiel eines PKW-DOC

Für den EmiCat wurde ein Volumen von 1.2 l angesetzt sowie eine reduzierte Beladung von 80 g/ft³. Diese Potentiale ergaben sich aus zahlreichen Messungen an verschiedenen Applikationen. Man erkennt, dass neben dem Gewinn an Effektivität das System auch kostenseitig Potential bietet, insbesondere wenn Einspareffekte hinsichtlich CO₂-Emission, wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, sowie deren Einfluß auf eine ggf. zu entrichtende Strafsteuer mitbetrachtet werden.

3 Emicat-Anwendungsmöglichkeiten im Dieselmotorbereich

3.1 Elektrisch beheizbarer Diesel Oxidations Katalysator

Beim Diesel-PKW wurde mit der kontinuierlichen Verbrauchsabsenkung durch weitere Wirkungsgradoptimierung das Temperaturniveau am Katalysator drastisch reduziert. Hinzu kommen teilweise erhöhte HC- und CO-Rohemissionen durch die NOx-optimierten Brennverfahren mit hohen Restgasanteilen. Dadurch wird es zunehmend schwieriger, die hohen Anforderungen hinsichtlich HC- und CO-Reduktion speziell im Kaltstart (ECE-Teil) zu erfüllen. Zum Einen dauert es relativ lange, bis die Light-Off Temperatur des Katalysators erreicht wird, zum Anderen fällt die Temperatur im dynamischen Betrieb immer wieder unterhalb der Light-Off Temperatur ab. Die notwendige Temperaturdifferenz, um die Effektivität des Systems deutlich zu verbessern, liegt dabei im Bereich von ca. 20-50K. Mit den im NEFZ vorliegenden Massenströmen ergibt sich daraus ein recht überschaubarer Energiebedarf, der jedoch über einen relativ langen Zeitraum zugeführt werden muß, wie in Abbildung 12 dargestellt.

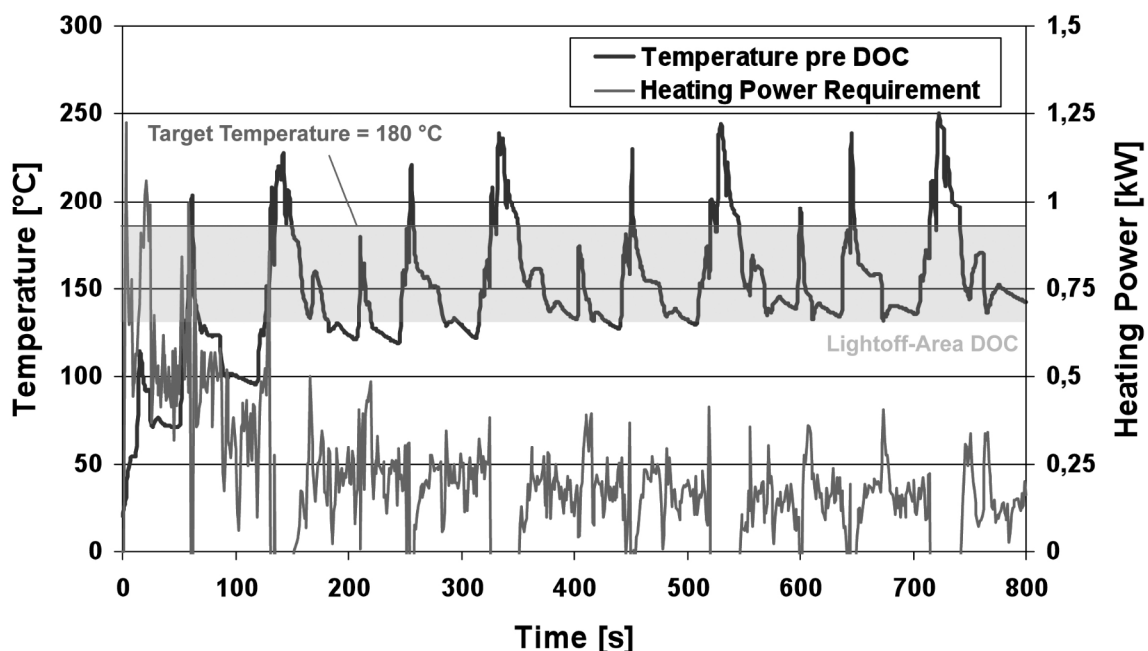


Abb. 12 : Temperaturverlauf Diesel-PKW im NEFZ und notwendiger Energiebedarf zur Erreichung der oberen Light-Off Temperatur

Man erkennt, dass zunächst in der Anfangsphase recht hohe Leistungen notwendig wären, um das Abgas auf die obere Light-Off Temperatur zu erhitzen. Mit Erreichen des zweiten Fahrhügels nimmt die erforderliche Leistung deutlich ab, nun reichen bereits Leistungen $\ll 1$ kW aus, um den erwünschten Effekt zu erzielen. Über den gesamten ECE ist weiteres Zuheizen erforderlich, um insbesondere in der Leerlaufphase die Temperatur auf dem gewünschten Level zu halten. In dieser Hinsicht bietet die moderne Fahrzeugarchitektur mit integrierten Start-Stopp-Funktionen sowie Bremsenergierekuperation in den Schubphasen enormes Optimierungspotential hinsichtlich der Deckung des erforderlichen Energiebedarfs.

Bei der untersuchten DOC-Applikation wurden unterschiedliche Heizstrategien hinsichtlich resultierendem Mehrverbrauch sowie dem Einfluß auf die Emissionen miteinander verglichen. Variiert wurden dabei sowohl der Startpunkt der elektrischen Beheizung als auch die Dauer. Zusätzlich wurde teilweise in den Schubphasen zugeheizt, um ein Auskühlen des Trägers zu verhindern. Eine Start-Stopp-Funktion konnte in diesem Fall noch nicht berücksichtigt werden, dies ist Zielsetzung zukünftiger Untersuchungen.

- 0-200 s (Basisstrategie)
- 0-60s
- 60-120s
- 60-120s + Heizen in Schubphasen (kompletter ECE)

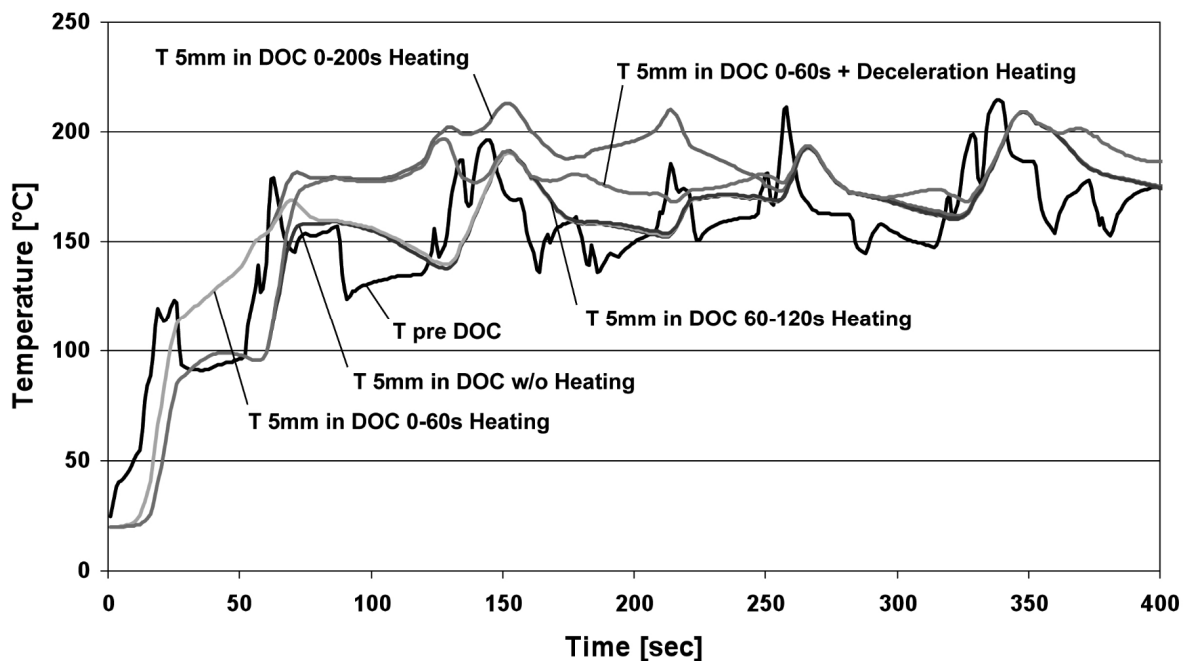


Abb. 13: Temperaturverläufe im Stützkat mit den unterschiedlichen Heizstrategien

Abbildung 13 zeigt die Temperaturverläufe der Vorkattemperatur sowie der Matrixtemperatur 5mm nach Gaseintrittsfläche dem der Heizscheibe nachfolgenden Stützkatalysators mit den unterschiedlichen Heizstrategien.

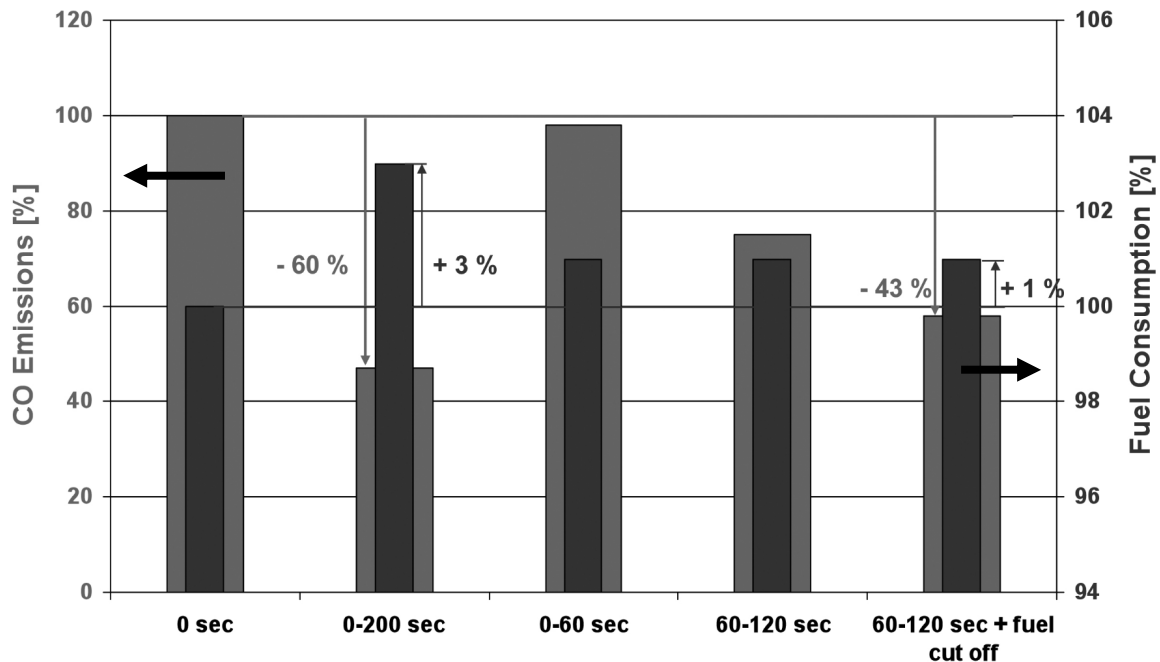


Abb. 14: *Einfluß der unterschiedlichen Heizstrategien auf CO-Emission und Kraftstoffverbrauch (berechnet aus Energiebedarf)*

Mit der anfänglichen Strategie, Heizen von Beginn bis 200s, kann die CO-Emission um ca. 60% reduziert werden, allerdings resultiert daraus auch ein zusätzlicher Kraftstoffverbrauch von ca. 3%. Wie der Versuch mit der Heizzeit 0-60s zeigt, wird in diesem Zeitraum nahezu keine Emissionsverbesserung erzielt, da aufgrund des hohen Energiebedarfs der Katalysator seine Light-off Temperatur nicht wesentlich früher erreichen kann. Mit der gleichen Heizspanne, aber erst bei 60s beginnend, kann bereits ein wesentlich größerer Effekt erzielt werden, der durch nachfolgendes Heizen während der Schubphasen, und damit ohne zusätzlichen Kraftstoffverbrauch mit Hilfe rekuperativ gewonnener Energie, weiter verbessert werden kann. Als Resultat dieser ersten Optimierung konnte der zusätzliche Kraftstoffverbrauch auf 1% reduziert werden, wobei immer noch eine Verbesserung von 43% in der CO-Emission erreicht wurde. Weiteres Verbrauchspotential lässt sich bei Start-Stopp-Applikationen erwarten.

3.2 Elektrisch beheizbarer SCR-Katalysator

SCR-Systeme im PKW-Bereich besitzen eine hohe Komplexität hinsichtlich der Anzahl der unterschiedlichen Komponenten sowie deren Zusammenspiel. Auch hier spielt die Temperatur eine wesentliche Rolle, und zwar nicht nur für die eigentliche Katalysatoreffektivität, sondern auch hinsichtlich der Eindüsung des

Reduktionsmittels. Dies bezieht sich sowohl auf den möglichen Zeitpunkt der Eindüsung, der durch eine gewisse Mindesttemperatur bestimmt wird, als auch auf die Qualität der Verdampfung und der anschließenden Verteilung des Reduktionsmittels.

Da der SCR-Träger üblicherweise nach DOC und DPF im Unterboden angeordnet wird, sind die in Kapitel 2 beschriebenen Nachteile durch die Wärmekapazität der Abgasanlage und ihrer Komponenten besonders ausgeprägt, womit hier eine elektrische Beheizung des SCR-Katalysators oder eines vorgeschalteten Hydrolysekats besonders vorteilhaft erscheint.

Besonders problematisch äußert sich dies üblicherweise im niederlastigen Betrieb wie z.B. im Stadtverkehr. Abbildung 15 zeigt die Temperaturen eines Transporter-Fahrzeuges mit SCR-System im Artemis-Stadtzyklus (Urban), bei dem dem SCR-Katalysator ein elektrisch beheizter Hydrolyse-Kat vorgeschaltet wurde. D.h., im Normalfall wäre die Temperatur vor Heizkat die SCR-Eintrittstemperatur. Die Heizstrategie wurde dabei so gewählt, dass nur bis zu einer Abgastemperatur von 180°C zugeheizt wird, wodurch die Temperatur im SCR-Träger auf einem relativ konstanten Niveau gehalten werden kann. Damit wird selbst unter diesen Randbedingungen eine sehr gute NO_x-Konvertierung ermöglicht. Auch hier könnte durch den Einsatz von Start-Stopp-Funktionalitäten zusätzliches Potential erschlossen werden.

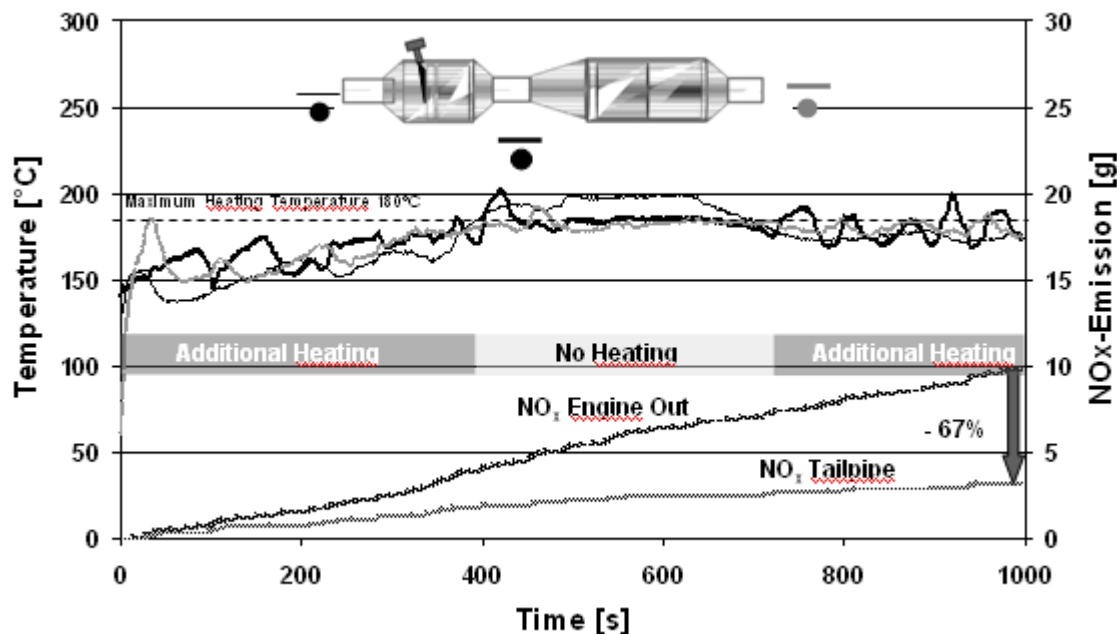


Abb. 15 : Temperaturen und NO_x-Emission mit beheizbarem SCR-System im Artemis Urban Zyklus

Man erkennt, dass der SCR-Katalysator selbst bei Temperaturen unter 180°C bereits deutliche NO_x-Umsätze erzielt, sofern genügend Ammoniak in der Beschichtung gespeichert ist. Die Zufuhr von Ammoniak bzw. Eindosierung von AdBlue wiederum bedarf einer gewissen Mindesttemperatur (zwischen 160 und 180°C), um eine

entsprechende Verdampfung, Aufbereitung und Hydrolyse sicherzustellen. Um z.B. bei einem Fahrprofil, wie es in den ersten 300s des Artemis-Zyklus dargestellt ist, zumindest diesen Nachschub an Ammoniak zu gewährleisten und damit eine Mindestfunktionalität aufrecht zu erhalten, ohne kontinuierlich hohe Energiemengen zur Aufheizung des gesamten Systems aufwenden zu müssen, könnte man in einer alternativen Strategie gezielt vereinzelte Leerlaufphasen für die Eindüsung nutzen. Der niedrige Massenstrom im Leerlauf führt bei gleicher Leistung des Heizkatalysators zu einer deutlich stärkeren Erwärmung des Abgases sowie der Heizscheibe selber. Dadurch ist gewährleistet, dass das eingedüste AdBlue auch bei der geringen Abgas-Eintrittstemperatur entsprechend verdampft und aufbereitet werden kann. Abb. 16 zeigt einen Vergleich von Gas- und Heizscheibentemperatur für unterschiedliche Lastpunkte. Man erkennt, dass selbst mit einer relativ geringen Leistung von 1 kW eine Temperatur von Heizscheibe und Abgas im Bereich 200 °C erreicht werden kann, während bei den Durchsätzen im Normalbetrieb nur recht geringe Temperaturunterschiede erzeugt werden können.

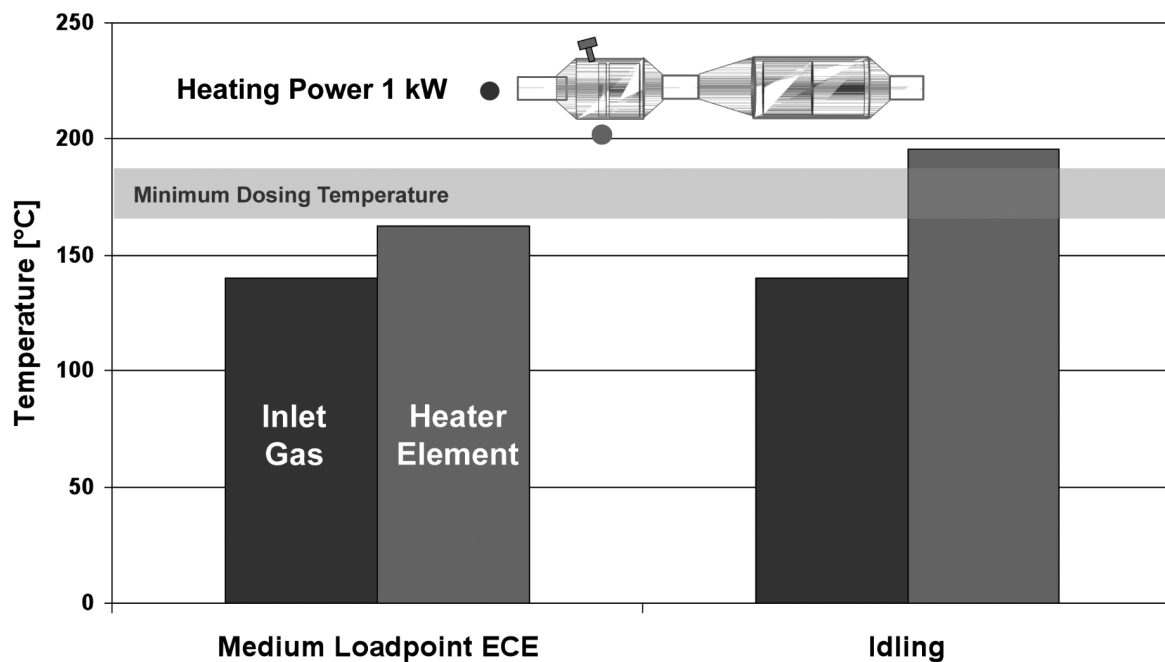


Abb. 16 : Erzielbare Temperaturerhöhung durch elektrische Beheizung in verschiedenen Lastpunkten

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der elektrisch beheizte Katalysator erweist sich trotz seines Alters als durchaus modern, da er eine ideale Ergänzung zu den aktuellen Fahrzeugkonzepten mit Energierückgewinnung und Start-Stopp-Funktion darstellt. Durch optimale Abstimmung der unterschiedlichen Funktionalitäten und Betriebsparameter kann mit dem elektrisch beheizten Katalysator auch aus energetischer Sicht ein effektives Thermomanagement erzielt werden. Gegenüber dem konventionellen, motorischen

Heizen ergeben sich zudem weitere Vorteile wie z.B. lokale, gezielte Energieeinbringung, kurze Regelstrecken und somit kurze Ansprechzeiten und gute Regelbarkeit sowie weitgehende Unabhängigkeit vom anliegenden Motorbetriebspunkt. Dadurch können insbesondere auch im Betrieb von SCR-Systemen zum Teil neue Heiz- und Regelstrategien angedacht werden. Eine diesbezügliche Optimierung und die Darstellung entsprechender Potentiale wird das Ziel zukünftiger Untersuchungen sein.

Ein weiterer Schwerpunkt muß die kostenneutrale Integration des Heizkats in das Gesamtkonzept sein. Entsprechende Potentiale z.B. durch mögliche Edelmetallreduktion oder Verbrauchseinsparungen durch Effektivitätsverbesserung müssen intelligent in das Gesamtsystem eingebracht und ganzheitlich betrachtet werden.

5 Literatur

- [1] F. J. Hanel, Alpina GmbH & Co., E. Otto, BMW AG, R. Brück, Emitec GmbH
'Electrically Heated Catalytic Converter (EHC) in the BMW Alpina B12 5.7 Switch-Tronic'
1996 SAE International Congress and Exposition Detroit, Michigan
Detroit, Michigan (USA), 1996

- [2] F. J. Hanel, Alpina GmbH & Co., E. Otto, BMW AG, R. Brück, T. Nagel. N. Bergau, Emitec GmbH
'Practical Experience with the EHC System in the BMW Alpina B12'
1997 SAE International Congress and Exposition Detroit, Michigan
Detroit, Michigan (USA), 1997

- [3] A.Wiartalla, C.Severin, Y.Rosefort, H.Kemper, FEV Motorentechnik GmbH;
H.Kwee, Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen, RWTH Aachen
'Diesel Hybrid and Exhaust Aftertreatment – Synergies and Optimization Potentials'
MinNox Berlin, Juni 2008

6 Danksagung

Herzlicher Dank geht an die Kollegen von Continental für die Unterstützung bei den Fahrzeugmessungen sowie der Simulation der Energiebilanzen.