SAACKE MARINE SYSTEMS

SAARUS

Schlussbericht zum Verwendungsnachweis

Projektsteckbrief	
Projekttitel	*Verbundprojekt:* SAARUS – Optimierung der Scrubber- Abgaswäsche Technologie zur Reduktion umweltschädlicher Schiffsemissionen *Vorhaben:* Optimierung von Entschweflungsanlagen (Nasswäschern) hinsichtlich des Abscheidegrades von Partikelemissionen im maritimen Einsatz
Förderkennzeichen	03SX483A
Zuwendungsempfänger	SAACKE GmbH
Bewilligungszeitraum	01.06.19 – 30.11.22
Weblink zur Projektdarstellung	https://www.saarus.de/

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Die in der globalen Schifffahrtsindustrie seit einigen Jahren eingesetzten „Scubber“ zur Entschwefelung der Abgase der mit Schweröl betriebenen Motoren sind bzgl. der SO_2-Abscheidungsraten weitgehend optimiert. Für SO_2- Emissionen gelten auch global ab 2020 deutlich niedrigere Grenzwerte (IMO), die mit Einsatz von Scrubbern eingehalten werden. Die Firma SAACKE ist in diesem Bereich eines der führenden Unternehmen und hat bereits einige Referenzanlagen in Betrieb.

Während die Effizienz der SO_2- Abscheidung bereits gut bekannt ist, gibt es nach wie vor Unklarheiten, inwiefern auch die Partikelemissionen der Motoren durch den Einsatz von Scrubbern reduziert werden. Eigene Messungen von SAACKE zeigten eine Abscheiderate von ca. 80 % bezogen auf die Partikelmasse, jedoch ist bisher nicht bekannt, wie die verbleibenden Partikel sich in der Partikelgrößenverteilung darstellen. Insbesondere Feinstäube zwischen ca. 1 µm und 0,1 µm, die als besonders toxisch angesehen werden, sind bisher im Abgas hinter Scrubbern nicht untersucht worden.

Hier setzt nun dieses Verbundforschungsprojekt an, da der Aufwand in Analytik und Parametervariation sehr erheblich ist und ein koordiniertes Vorgehen von universitärer

Forschungseinrichtung und Industrie erfordert. Und das unter dem Hintergrund, dass es bisher noch keine relevanten gesetzlichen Grenzwerte gibt.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben wurde in einem Projektverbund durchgeführt, in dem sich die Kompetenzen der einzelnen Projektpartner sinnvoll ergänzen, dies gilt sowohl für die wirtschaftliche als auch wissenschaftliche Anschlussfähigkeit der Ergebnisse.

Der Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren der Universität Rostock (UR-LKV) hat ein geeignetes Versuchsumfeld für die durchgeführten Versuche bereitgestellt. Die Projektpartner haben die erforderlichen Apparate und entsprechendes Messequipment bereitgestellt, so hat SAACKE den Scrubber, samt Steuerung und relevanter Messtechnik für die Versuche erfolgreich installiert und in Betrieb genommen.

Durch die Corona Pandemie ist es zu erheblichen Einschränkungen bei der Arbeit der Projektpartner am UR-LKV vor Ort gekommen, die dritte Messkampagne musste aus diesem Grund verschoben werden. Durch eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit und verstärkte Kommunikation über online Meetings haben alle Projektpartner trotzdem die Ihnen zugetragenen Aufgaben erfolgreich weiterführen können. Die dritte Messkampagne konnte somit erfolgreich durchgeführt werden.

1.3 Wissenschaftliche und Technische Ausgangssituation

Mit der ab 2020 gültigen Herabsetzung des global zulässigen Schwefelgehalts in Kraftstoffen von 3.5 % auf 0.5 % (MARPOL, Annex VI), ist ein vermehrter Einsatz von Scrubbern auch außerhalb der ECAs zu erwarten.

Aufgrund von Nachrüstungen und Neuinstallationen von Abgasaufbereitungssystemen wie z.B. Scrubbern bedarf es einer Neueinschätzung des guten Umweltzustandes der Meeresumwelt (definiert durch Marine Strategy Framework Directive - MSFD) im Ostseeraum. In hochfrequentierten Fahrrinnen ist perspektivisch mit einer Überschreitung bisheriger Grenzwerte von Schadstoffkonzentration im Oberflächenwasser (Richtlinie 2008/105/EG, Umweltqualitätsnormen für prioritäre Stoffe und bestimmte andere Schadstoffe) zu rechnen, sollte der bisher präferierte open-loop Modus genutzt werden, bei dem das Waschwasser ins Meer geleitet wird.

Nasswäscher ist die vornehmlich verbaute Scrubbervariante (> 99 %). Aufgrund der ab dem 1. Januar 2020 in Kraft tretenden Regularie zur atmosphärischen SOx-Reduktion, verfasst durch die International Maritime Organization (IMO) (MARPOL, Annex VI), gelten nachgerüstete Scrubber-Systeme zunehmend als wirtschaftliche Alternative zu schwefelarmen Treibstoffen wie LNG, CNG (Compressed Natural Gas), MGO (Marine Gasoil) oder MDO (Marine Diesel Oil). Dabei zielen die MARPOL-Reglementierungen ausschließlich auf die Verschmutzung der Atmosphäre durch Schiffsemissionen ab. Trotz zunehmend strengerer Grenzwerte sind schiffsbasierte Kraftstoffgrenzwerte für Schwefel immer noch sehr viel höher (bis zu 100-fach) als an Land geltende Maximalkonzentrationen (zulässiger Schwefelanteil im Kraftstoff für den Straßenverkehr: 0.001 %, Umweltbundesamt).

Ausgestoßenes SOx, NOx sowie organische Schadstoffe (z.B. PAKs), Metalle (z.B. Cd, Cu, Ni, V und Pb) und Partikel können gravierende Folgen in der Atmosphäre verursachen: Gesundheitsschäden (Atmungsorgane, kardiovaskuläres System), Bildung von Ozon in Bodennähe, Eutrophierung und Versauerung von Wasser und Boden sowie die Reflexion bzw. Absorption von Strahlung durch Partikel. (Turner et al., 2017)

Noch nicht berücksichtigt sind dabei an Partikel gebundene organische Schadstoffe, die einen potenziellen Einfluss auf das Ökosystem und die Gesundheit haben können.

Das Dokument MARPOL, Annex VI reguliert folgende atmosphärische Emissionen:

- Ozonschädigende Substanzen
- NO_x
- SO_x
- Flüchtige organische Substanzen (VOCs)

Als Nebeneffekt findet in einem Scrubber eine deutliche Reduktion der Partikelemission (TSP – total suspended particulates) parallel zur SO_x-Reduktion statt. Das Problem ist, dass hier vor allem größere Partikel abgeschieden werden. Die toxikologisch relevante Feinstaubfraktion, die auch die von der WHO (World Health Organisation) als krebserregend klassifizierten (Durchmesser < 0,5 µm), einatembaren Rußpartikel umfasst, wird im Wäscher so gut wie nicht reduziert, wie die Abbildung 2 zeigt.

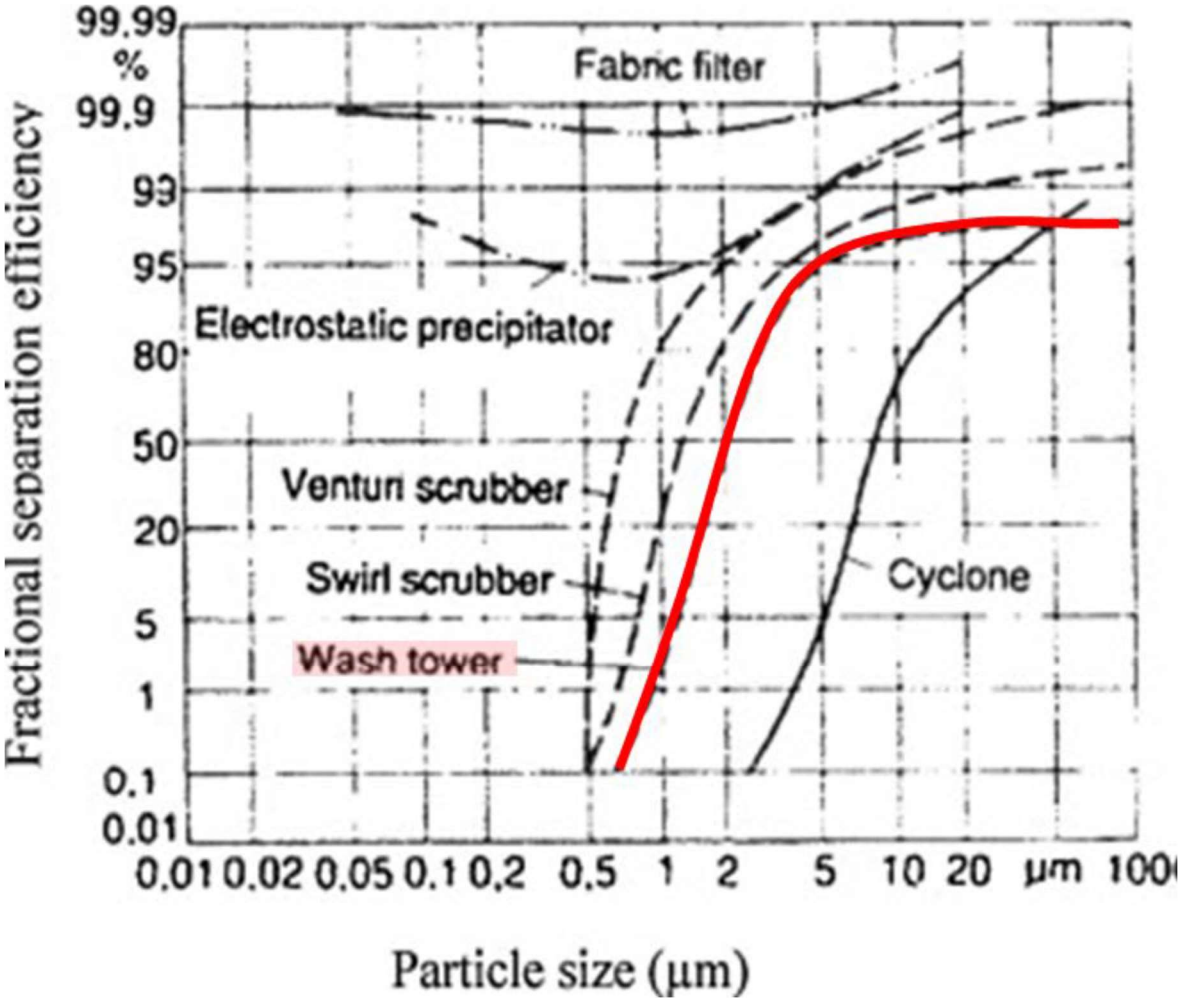

Abbildung 1: Abscheidung von Fein-und Ultrafeinpartikeln in einem Wäscher (rote Linie). 1 µm Partikel werden im Wäscher nur zu 5 % abgeschieden (modifiziert aus Prabhansu et al, J. Environ. Chem. Engin. 3 (2015) 689-702). Eine Reduktion der besonders gefährlichen Fein-und Feinststäube findet im nicht-optimierten Wäscher so gut wie nicht statt. Weitergehende Abscheidemethoden, wie Nasselektrofilter, die auch im Rahmen von SAARUS verwendet werden, können die gesundheitsschädlichen Feinpartikel viel effizienter abscheiden.

Der Einsatz von open-loop Scrubbern vermindert den Schwefeloxidausstoß um 98 %, die Emission der Gesamtpartikelmasse um bis zu 80 % (pers. Kommunikation, SAACKE), ohne die gesundheitsgefährlichen Feinstäube nennenswert zu reduzieren, und den Kohlenwasserstoffgehalt um 10-20% in der Gasphase (Fabian Kock, Certification of Exhaust Gas Cleaning Systems for Mariti-me Applications, Rostocker Großmotorentagung, 2012). Die Belastung der marinen Umwelt durch Ablagerungen, Lösungsvorgänge und das Einleiten von Waschwasser hingegen wird durch MARPOL, Annex VI nicht reguliert. Es werden jedoch Richtlinien herausgegeben, die sich auf folgende Parameter beziehen:

- pH-Wert
- PAKs
- Trübung/suspendierte Partikel

- NO_x

Der Empfehlung entsprechend, ist eine Abweichung des pH-Wertes um zwei pH-Einheiten, jedoch mit einem Minimum von 6,5 zugelassen. Von der Empfehlung ausgenommen ist die Berücksichtigung der Pufferkapazität oder des Salzgehalts, welche innerhalb des Ostseeraums stark variieren.

Untersuchungen von Fa. SAACKE an bestehenden, auf den Entschwefelungsprozess optimierten Scrubber-Systemen zeigen ein Grenzkorn hinsichtlich der durch den Scrubber aus dem Abgas entfernten Partikel mit einem Durchmesser von 0,5 µm (siehe Abbildung 2). Dieses ist in guter Übereinstimmung mit den in Abb. 2 gezeigten Gasphasen-Abscheideraten.

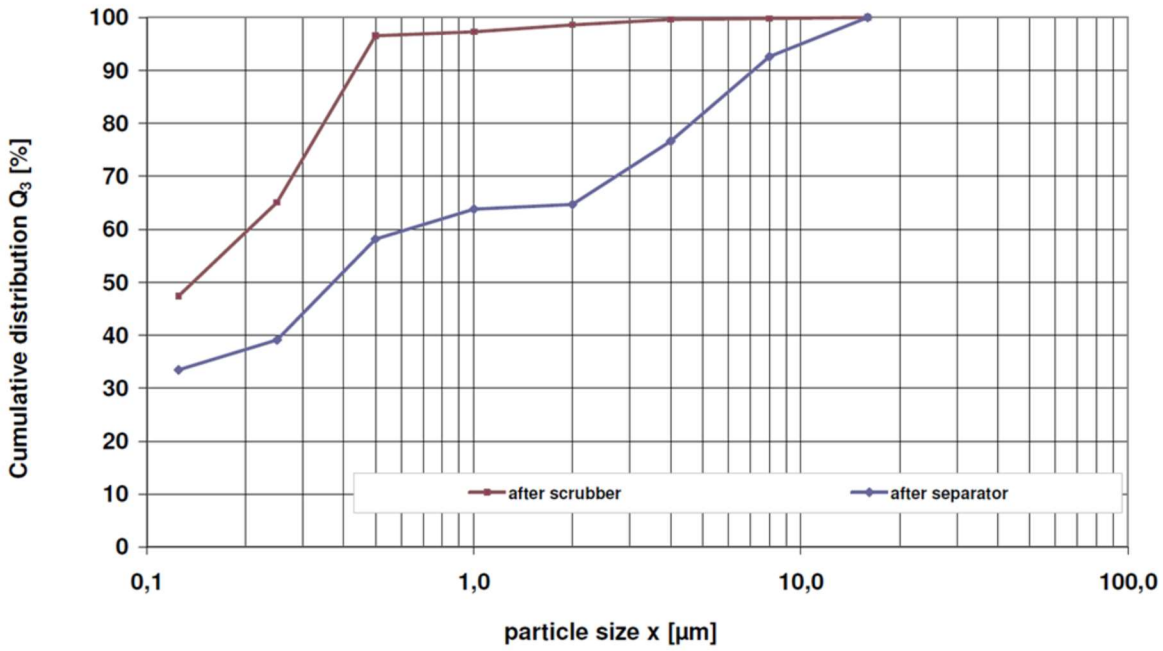

Abbildung 2: Partikelgrößenverteilung im Abgas nach Scrubbereinheit (rot) und nach Separatoreinheit (blau)

Die Partikel im Abgas mit einer Größe < 0,5 µm durchströmen den Nasswäscher ohne nennenswerte Reduktion. Die abgeschiedene Partikelgesamtmasse in Größenbereich 1-100 µm beträgt 80-90 % und führt zur Überführung hoher Schadstofffrachten in das Waschwasser. Das Kriterium der Waschwassertrübung ist neben der Überwachung der Partikelbeladung ein trivialisierter Parameter zur praktikablen Kontrolle der Schadstofffracht.

Einer Studie aus 2006 folgend überwiegen mehrkernige PAKs gebunden an Partikel welche über den Separator abgeschieden und im sog. „sludge tank“ gesammelt werden (Buhaug et al., 2006). Kleinere PAKs hingegen verbleiben löslichkeitsbedingt eher im Waschwasser und werden beim open-loop Verfahren ungemindert in die Meere geleitet. Das Dokument MARPOL Annex VI empfiehlt eine Maximalkonzentration von 50 µg/L PAK(phe) über der Einlasskonzentration. Obwohl ein Großteil der ausgewaschenen Grobpartikelmasse im Separator abgeschieden wird, wurden im Jahr 2017 um ein

Vielfaches erhöhte Konzentrationen schwerflüchtiger PAKs (z.B. Benzo(k)fluoranthen) in der Ostsee verzeichnet (siehe: Jahresbericht des IOWs an das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie, BSH). Auch die gesamte PAK-Belastung der partikulären Phase in der Mecklenburger Bucht ist auffallend hoch. Aufgrund der dort vielbefahrenen Kadetrinne wird ein Zusammenhang mit Flüssigscrubbern im open-loop-Modus vermutet.

Für Metalle gibt es keine empfohlenen Grenzwerte in Scrubber-Abwässern. Der Metallgehalt z.B. von Zink und Kupfer kann in den Abwässern jedoch um ein Vielfaches höher sein als z.B. reglementierten Anti-Fouling-Anstriche für Schiffe (Turner et al., 2017). Bei der Ausführung der Waschwasserentsorgungskriterien in den Richtlinien von MARPOL Annex VI wird folgendes angemerkt:„The washwater discharge criteria should be revised in the future as more data becomes available on the contents of the discharge and its effects, taking into account any advice given by GESAMP.“ (GESAMP - Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection).

Dies bestätigt eine unzureichende Datenlage und veranschaulicht den Forschungsbedarf auf dem Gebiet der Scrubber-Waschwasserbelastung.

Schwefelarme aber preisintensive Kraftstoffe erfüllen zwar die Voraussetzungen, die im MAR-POL Annex VI festgeschrieben sind, jedoch ist derzeit noch nicht ausreichend untersucht, inwieweit Feinpartikel (PM < 2.5 µm) mit oder ohne Schadstoffbeladung weiterhin emittiert werden, solange dem Verbrennungsprozess keine entsprechende Aufreinigung nachgeschaltet wird. Eine zukünftige Verschärfung bestehender Grenzwerte ist wahrscheinlich. Die Anpassung und Optimierung jeweiliger Betriebsparameter sowie der Einsatz eines Partikelfilters beugen zum einen einer ökologischen Überlastung vor und können zum anderen eine wirtschaftliche Alternative zu den schwefelarmen aber preisintensiven Kraftstoffen bilden.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen

Im Einzelnen wurden, die in Tabelle 1 dargestellten Ergebnisse erzielt.

Tabelle 1: Gegenüberstellung Ziele und erreichte Ergebnisse

Zielsetzung	Erzieltes Ergebnis
Skalierung und Aufbau eines Scrubbers für den 1-Zylinder Forschungsmotor, inklusive Probename-, Tank- und Lagermöglichkeiten für das Waschwasser	Die Zielsetzung wurde erreicht. Der Scrubber wurde erfolgreich dimensioniert und in Betrieb genommen. Über den Verlauf der zwei Messkampagnen, bei denen der Scrubber zum Einsatz gekommen ist (MK 2 und MK3), wurden Erkenntnisse über das erforderliche Lagervolumen für Waschwasser und die Probenahmestelle im Sumpf des Scrubbers gewonnen. Dazu zählen auch Erkenntnisse über die Steuerung der Druckverhältnisse innerhalb des Wäschers.
Optimierung der SO_2-Abscheidung durch den Einsatz unterschiedlicher Füllkörper im Waschturm	Die Zielsetzung wurde erreicht. Es wurden unterschiedliche Schüttungen untersucht sowie eine Konfiguration ganz ohne Schüttung im Waschturm. Der Einfluss der Schüttung auf den Abscheidegrad konnte dabei gezeigt werden. Außerdem wurde der Einfluss der Quench auf die Abscheidung ermittelt. Diese Erkenntnisse erlauben eine zukünftige Optimierung bezogen auf die Erforderliche Waschwassermenge und den Platzbedarf des Scrubbers.
Partikelabscheidungsrate von mindestens 90 mas.-% im Scrubber bei einem Grenzkorn von 0,2 µm	Dieses Ziel wurde nicht erreicht. Die Versuche haben gezeigt, dass im Scrubber zwar eine Partikelabscheidung erfolgt, die Zielsetzung jedoch verfehlt wird unabhängig von der untersuchten Konfiguration des Scrubbers.

	Für eine entsprechende Reduktion der Partikelemissionen ist der Einsatz nachgeschalteter Filter erforderlich die in unterschiedlichen Ausführungen im Rahmen dieses Projekts untersucht worden sind. Die Ergebnisse werden durch die jeweiligen Projektpartner dargestellt.

2.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Untersuchungen und Optimierungen der Abgasnachbereitung greifen der Emissionsgesetzgebung voraus, dies gilt insbesondere für Feststoffemission und die Chemische Analyse derselben. Die erzielten Ergebnisse liefern somit technische Randbedingungen für mögliche, zukünftige Verschärfungen des Emissionsrechts im maritimen Umfeld. Die Notwendigkeit entsprechender Regularien auf dem Weg hin zum „green shipping“ liegt dabei auf der Hand.

In diesem Projekt wurde erstmals ein sensorgestützter Nasswäscher mit filtrations- und Wasseraufbereitungseinheit in seiner Gesamtheit entwickelt. Dies erlaubt es die einzelnen Systeme optimal aufeinander abzustimmen und die in der Praxis ansonsten auftretenden Ineffizienzen zukünftig besser vermeiden zu können. Dafür ist eine direkte Zusammenarbeit der einzelnen Systemlieferanten erforderlich, welche durch dieses Projekt in einer bisher nicht bekannten Intensität erreicht wurde.

3 Erfolgskontrollbericht

3.1 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens

In den drei durchgeführten Messreihen wurde ohne sekundäre Maßnahmen bei Schweröl eine maximale Reduktion der Partikelmassenkonzentration von 30% im Scubber erreicht. Für eine weitere Reduktion sind nachgeschaltete Filtersysteme erforderlich. Insofern zukünftig die Grenzwerte für Partikelemissionen verschärft werden, ist eine entsprechende Erweiterung der Abgasnachbehandlung erforderlich.

Die SO_2 Konzentration im Abgas wurde durch den Scrubber zuverlässig auf unter 10 ppm gesenkt, unabhängig vom Schwefelgehalt der verwendeten Brennstoffe. Bis zu 70% der SO_2-Abscheidung erfolgt bereits in der Quench, welche primär für die Kühlung des Abgases vorgesehen ist. Zur Einhaltung der aktuellen Grenzwerte ist der eigentliche Waschturm trotzdem weiterhin erforderlich.

3.2 Fortschreiten des Verwertungsplans

3.2.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Der Einsatz schwefelarme Kraftstoffe, bei denen auf den Einsatz von Abgaswäschern verzichtet werden kann, ist zunehmend wirtschaftlich. Zusätzlich werden zunehmend alternative Brennstoffe in der Schifffahrt eingesetzt, wie LNG und Biokraftstoffe, die in Zukunft noch um Methanol und Ammoniak ergänzt werden. Bei den genannten Brennstoffen fallen keine SO_2 und Partikelemissionen an, die eine Abgasnachbehandlung mit einem wie dem hier untersuchten Scrubber erforderlich machen. Dies gilt voraussichtlich auch bei einer weiteren Verschärfung der Emissionsgrenzwerte. Die wirtschaftlichen Einsatzmöglichkeiten für Scrubber zur SO_2- und Partikelabscheidung sind dementsprechend zukünftig beschränkt.

3.2.2 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende:

Die wissenschaftlich/technischen Erfolgsaussichten sind Vergleich zum Zeitpunkt der Antragsstellung unverändert.

3.2.3 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase

Es haben sich keine Änderungen der wissenschaftlichen Anschlussfähigkeit im Vergleich zum Zeitpunkt der Antragsstellung ergeben.

Die wirtschaftliche Anschlussfähigkeit ist auf Grund des Einsatzes neuer Brennstoffe wie LNG, Biobrennstoffe, Methanol und Ammoniak eingeschränkt. Die Emissionsgesetzgebung ist bei diesen Brennstoffen noch nicht umfassend. Auf Grund der geänderten Brennstoffeigenschaften ist ein breiter Einsatz von Scubbern zur SO_2- und Partikelreduktion als unwahrscheinlich zu bewerten. Es wird erwartet das NO_x-Emissionen zukünftig eine größere Rolle spielen werden, welche in diesem Projekt nicht berücksichtigt worden sind.