

# Rationale Energieverwendung, regenerative Energie und Energiesparen, progres.nrw und des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), Ziel 2-Programm 2007 – 2013, Phase VI

## **Netzwerk für Erosions- und Korrosionsschutzschichtentwicklung zur Steigerung der Life-Cycle-Efficiency energiestrategisch relevanter Anlagen – ENERKON.LCE**

### **Abschlussbericht – Kurzfassung**

In diesem Verbundprojekt wurden neuartige Schutzschichten gegen erosive und korrosive Belastungen für die rotierenden Komponenten in Kraft- und Arbeitsmaschinen unter Einsatz verschiedener Beschichtungstechnologien entwickelt, untersucht und bewertet. Unter der Federführung der MAN Diesel & Turbo SE, Oberhausen, hat sich in Nordrhein-Westfalen (NRW) ein anwenderbezogenes Konsortium zur Steigerung der Energieeffizienz von Turbinenkomponenten etabliert. Das Institut für Oberflächentechnik (IOT) der RWTH Aachen University, die Westfälische Hochschule Gelsenkirchen (WH Gelsenkirchen) sowie der Beschichter Thermico GmbH und Co. KG aus Dortmund ermöglichten in Kooperation mit der MAN Diesel & Turbo SE durch einen stetigen Informationsaustausch einen erfolgreichen Projektabschluss. Bei Kompressoren, Gasturbinen und Dampfturbinen entstehen aufgrund der durch die Maschine geförderten Arbeitsmedien speziell an Laufschaufeln mitunter starke Erosionsschäden. Gleichzeitig können die durch die Maschine transportierten Medien, speziell bei Stillständen der Anlage, aufgrund der oftmals chemisch aggressiven Eigenschaften und der vorhandenen Feuchtegehalte starke Korrosionsschäden verursachen. Diese Schädigungen vermindern die Lebensdauer und die Betriebseffizienz.

Die aktuell in Arbeitsmaschinen eingesetzten Laufschaufeln weisen wirkungsgradoptimal ausgelegte Geometrien auf. Im industriellen Einsatz verursachen die Arbeitsmedien aufgrund der erosiven und korrosiven Angriffe eine Veränderung der ursprünglichen strömungsoptimierten Schaufelgeometrien. Dies wirkt sich nachteilig auf den hohen Wirkungsgrad der Arbeitsmaschinen aus. Schutzschichten, die eine Gestalttreue der Laufschaufeln garantieren, können somit den Lebenszyklus-Wirkungsgrad (Life-Cycle-Efficiency) von Kraft- und

Gefördert durch



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

**Ziel2.NRW**  
Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,  
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen



Verbundprojekt: ENERKON.LCE  
Durchführungszeitraum: 21.02.2013 – 31.07.2015

Arbeitsmaschinen erhöhen. Derzeit werden auf dem Markt ausschließlich kommerzielle Beschichtungen angeboten, die entweder Schutz gegen Erosionsangriffe oder gegen Korrosionsschäden bieten. Der Einsatz von Schutzschichten mit einer Kombination beider Eigenschaften würde die Lebensdauer von Turbomaschinen stark erhöhen. Die Realisierung von Schichten mit kombiniertem Erosions- und Korrosionsschutz stand bei dem Vorhaben ENERKON.LCE im Fokus der Forschungsarbeiten. Insbesondere ein erosiver Abtrag wird durch die Verwendung geeigneter Schutzschichten mit hohen Härten und hohen Verbundhaftfestigkeiten zwischen Schicht und Grundwerkstoff verhindert oder zumindest verzögert. Bei entsprechender Kenntnis des Schädigungsablaufs bei gegebenem Belastungskollektiv kann die Lebensdauer der Schichten prädiktiv bestimmt werden. Dieser Umstand gibt einem Anlagenbetreiber die Möglichkeit, die entsprechende Komponente rechtzeitig außer Betrieb zu nehmen, bevor eine Schädigung des Grundwerkstoffs eintritt. Dies ermöglicht Wartungs- und Reparaturstrategien, um durch gezielte Entschichtung und Neuapplikation der Schutzschichten die Funktionsfähigkeit des Bauteils wiederherzustellen.

Aus der engen Kooperation der Projektpartner ist innerhalb von NRW ein Kompetenznetzwerk entstanden. Innerhalb des Konsortiums waren alle Kompetenzen von der Entwicklung über die Herstellung und Validierung solcher funktionalen Beschichtungen für den kombinierten Erosions- und Korrosionsschutz vereint. Die Firma Thermico und das IOT der RWTH Aachen University entwickelten neuartige Beschichtungen mit unterschiedlichen Ansätzen hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung und der angewendeten Applikationstechnologien. Die Projektpartner von der Westfälischen Hochschule und von den Firmen Thermico und MAN übernahmen die Untersuchung und Bewertung der neu entwickelten Schichten hinsichtlich des Erosions- und Korrosionswiderstands unter anwendungsnahen Randbedingungen.

Am IOT wurden zwei innovative Beschichtungstechnologien, die High-Speed Physical Vapour Deposition (HS-PVD)-Technologie und das Auftragglöten, für die Entwicklung von Schutzschichten für Laufschaufeln eingesetzt. Die HS-PVD-Technologie, basierend auf dem Prinzip des Hohlkathodensputterns, bietet die Möglichkeit, dicke Schichten bei hohen Depositionsraten abzuscheiden, die mittels konventioneller PVD-Verfahren nicht wirtschaftlich hergestellt werden können. Insbesondere eignet sich das Verfahren für die Herstellung von nitridischen und oxidischen Schichten, da aufgrund der speziellen Auslegung der Beschichtungsanlage die Bildung nichtleitender Oxide und Nitride auf den Sputtertargets, die sogenannte „Targetvergiftung“, vermieden wird. Die neuentwickelten PVD-Schutzschichten basieren auf den Systemen (Ti,Al,Si)N und (Cr,Al,Si)N. Diese Schichten weisen eine hohe Universalhärte HU und zugleich einen hohen Eindringmodul  $E_{IT}$  auf, was den Anforderungen an Erosionsschutzschichten entspricht. Hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit wurde die Korrosionsstromdichte der beschichteten Proben in elektrochemischen Korrosionsuntersuchungen um den Faktor 1.000 im Vergleich zu den unbeschichteten Substraten reduziert. Dies bedeutet, dass die Korrosion aufgrund der Schutzwirkung der Beschichtung wesentlich langsamer stattfindet. Zusammenfassend haben

Gefördert durch



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

**Ziel2.NRW**  
Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,  
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen



Verbundprojekt: ENERKON.LCE  
Durchführungszeitraum: 21.02.2013 – 31.07.2015

die (Ti,Al,Si)N- und (Cr,Al,Si)N-Schichtsysteme, hergestellt mit der HS-PVD-Technologie, vielversprechende Untersuchungsergebnisse für einen kombinierten Erosions- und Korrosionsschutz der Kompressorlaufschaukeln gezeigt.

Beim Auftragslöten besteht die Möglichkeit, Schutzschichten mit Dicken bis zu mehreren Millimetern großflächig auf Bauteiloberflächen aufzubringen. Durch die große Anzahl an kommerziell erhältlichen Loten und Applikationsformen ist das Verfahren zudem sehr flexibel und schnell an die Werkstoffe als auch an die Bauteilgeometrie anpassbar. Die Verschleißbeständigkeit der Schichten, die durch die Härte der eingesetzten Hartlote schon auf einem hohen Niveau liegt, konnte durch die Zugabe von Hartstoffen, wie z.B. Karbiden, noch gesteigert werden, so dass auftraggelötete Schichten bei unterschiedlichen Belastungsarten einen hohen Verschleißwiderstand aufweisen. Durch Zulegen weiterer Elemente zu den Loten konnten zudem die Eigenschaften der Schichten an die jeweilige Einsatzsituation angepasst werden. Mit diesem Ansatz wurden Ni- und Fe-basierte Schichten entwickelt, die durch den Zusatz von Chrom- und Wolframkarbiden eine hohe Beständigkeit gegenüber Tropfenerosion aufweisen. Die Beständigkeit gegenüber Tropfenerosion wurde in einem Tropfenschlagerosionsversuch von MAN ermittelt. Der Versuchsaufbau ist einer von wenigen in Europa, so dass die Schichtentwickler innerhalb des Konsortiums, die seltene Möglichkeit hatten, die Schichten unter realitätsnahen Bedingungen auf Tropfenerosion zu untersuchen. Die dadurch generierten Ergebnisse trugen zu einer zielführenden Weiterentwicklung der Schutzschichten bei. Aus den Versuchen ging hervor, dass durch den Einsatz auftraggelöteter Schichten eine Reduktion des Volumenabtrags um bis zu 43 % im Vergleich zum Grundwerkstoff erreicht wurde.

Thermico war innerhalb des Projektes für die Entwicklung neuer Erosionsschutzschichten gegen Tropfenerosion verantwortlich, die ebenfalls im Tropfenschlagerosionsversuch getestet wurden. Innerhalb des Projekts wurde ein Prozessfenster für das Auftragen der WC Co Cr- und WC CrC Ni-Schichten mittels einer Variante des thermischen Spritzens, dem High Velocity Oxygen Fuel Spraying (HVOF-Spritzen), ermittelt.

MAN ist als Turbomaschinenhersteller mit Schädigungsprozessen und –mechanismen konfrontiert, die durch den Betrieb der Anlagen beim Kunden aufgrund korrosiver und erosiver Belastungen hervorgerufen werden. Eine Aufgabe war daher die Identifizierung von Schädigungen durch erosive und korrosive Belastungen von Bauteilen in Kompressor- und Dampfturbinenanlagen. Aus diesen festgestellten Schadensmechanismen wurden Prüfparameter für qualifizierende Versuche abgeleitet, mit denen auf einfache Art und Weise eine Einschätzung des Verhaltens von Beschichtungen im Einsatz getroffen werden konnte. Diese Parameter dienen anschließend dazu, die Weiterentwicklung von Schichtsystemen zu unterstützen und die vom IOT und Thermico entwickelten Beschichtungen hinsichtlich Erosions- und Korrosionsbeständigkeit zu bewerten.

Gefördert durch



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

**Ziel2.NRW**  
Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,  
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen



Verbundprojekt: ENERKON.LCE  
Durchführungszeitraum: 21.02.2013 – 31.07.2015

Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten an der WH Gelsenkirchen war die Qualifizierung der Schicht- und Lotsysteme in Korrosionsversuchen für einen zukünftigen Einsatz in Luftkompressoren bzw. Dampfturbinen. Dafür wurden Korrosionsexperimente in chloridhaltigen, sauren und schwefeldioxidhaltigen Medien an den neuentwickelten PVD-Schichten, thermisch gespritzten Schichten und Auftragglötungen der Projektpartner durchgeführt. Das Verhalten der Schichtsysteme wurde mit dem Korrosionsverhalten bekannter, zum Teil bereits in den Markt eingeführter, jedoch auf dem Gebiet des kombinierten Erosions- und Korrosionsschutzes in der speziellen Anwendung bei Luftkompressoren bzw. Dampfturbinen noch nicht etablierter Schichtsysteme verglichen. Des Weiteren wurden Eigenschaftsveränderungen des jeweiligen Schichtsystems durch die Korrosionsprüfung dokumentiert, so dass das Anwendungspotential der neuen Schichten im Vergleich zu der industriellen Referenzbeschichtung aufgezeigt werden konnte.

Ein zusätzliches Ziel des Vorhabens war der Aufbau einer Datenbank mit Informationen über die Eigenschaften verschiedener Beschichtungen und Beschichtungsarten. Die zusammengetragenen Erkenntnisse dieser Erosions- und Korrosionseigenschaften stärkte die Expertise aller Projektpartner sowohl für die Entwicklung von neuen Schichten als auch bezüglich ihrer Verwendung.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die im Verbundprojekt neuentwickelten Schichten den Zweck erfüllen, bewegten Komponenten in Turbomaschinen einen kombinierten Schutz gegen Korrosion und Erosion zu bieten. Außerdem konnte durch dieses Vorhaben ein Netzwerk von in NRW ansässigen Firmen und Hochschulen aufgebaut werden, das von der Schichtentwicklung über die Qualifikation und Bewertung der Schichteigenschaften bis zur Nutzung der Schichten auf Bauteilen eine komplette Wertschöpfungskette abbilden konnte. Im Rahmen des Projektes wurde somit der Grundstein für weitere Kooperationen auf dem Gebiet der Schutzschichtentwicklung gegenüber erosiver und korrosiver Belastung bei Kompressoren, Gasturbinen und Dampfturbinen gelegt.

**Ansprechpartner: M.Sc. Ludwig Pongratz**  
**Löttechnologie**  
**+49 (0)241 80 99978**  
**pongratz@iot.rwth-aachen.de**

**M.Sc. Tiancheng Liang**  
**PVD-Technologie (Bauteile)**  
**+49 (0)241 80 95346**  
**liang@iot.rwth-aachen.de**

Gefördert durch



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

**Ziel2.NRW**  
Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,  
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen

