Turboladerentwicklung für Offroad-Dieselmotorenanwendungen – Herausforderungen und Perspektiven

Thomas Winter, MAN Diesel & Turbo SE,
Head of Validation Assessment Turbocharger Engineering

Festkolloquium der BTU Cottbus- Senftenberg, 2016

Inhaltsübersicht

1 MAN Diesel & Turbo auf einen Blick

2 Engines & Marine Systems – Produkte und Anwendungen

3 Herausforderungen für die Zukunft

4 Konsequenzen / Umsetzung für die Turboaufladung

Inhaltsübersicht

1 MAN Diesel & Turbo auf einen Blick

2 Engines & Marine Systems – Produkte und Anwendungen

3 Herausforderungen für die Zukunft

4 Konsequenzen / Umsetzung für die Turboaufladung

MAN Group
Kennzahlen 2014

Volkswagen / MAN SE

Geschäfts-bereiche

Commercial Vehicles

Power Engineering

Divisionen

MAN Truck & Bus

Umsatz ‘14: € 8,4 Mrd

MAN Latin America

Umsatz ‘14: € 2,3 Mrd

MAN Diesel & Turbo

Umsatz‘14: € 3,3 Mrd

Renk (76 %)

Umsatz‘14: € 0,5 Mrd

Beteiligungen

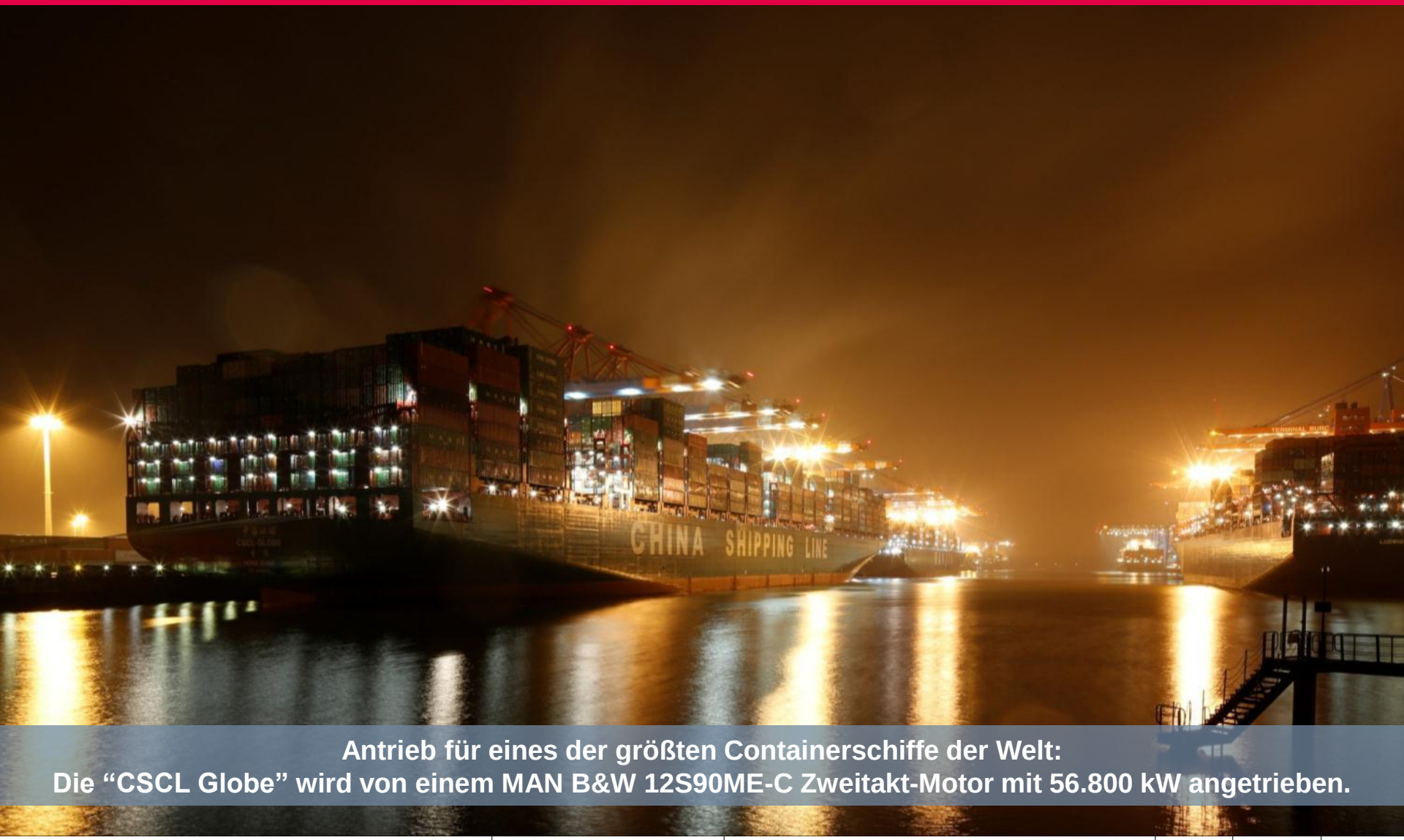
Sinotruk (25,0 % +1 Aktie), **Scania** (17,4 %*)

* Stimmrechte

Die MAN Gruppe in 2014: €14,3 Mrd Umsatz, 55.903 Mitarbeiter

MAN-Motoren bewegen 50% des Welthandels

Zweitakt-Motor für die CSCL Globe



Antrieb für eines der größten Containerschiffe der Welt:
Die “CSCL Globe” wird von einem MAN B&W 12S90ME-C Zweitakt-Motor mit 56.800 kW angetrieben.

Energie für entlegene Regionen

Kraftwerk deckt 25% des Energiebedarfs von La Réunion ab

Hocheffiziente Energieerzeugung für Electricité de France: Zwölf MAN 18V48/60 (210 MWe) sichern die Energieversorgung auf La Réunion

Inhaltsübersicht

1 MAN Diesel & Turbo auf einen Blick

2 Engines & Marine Systems – Produkte und Anwendungen

3 Herausforderungen für die Zukunft

4 Konsequenzen / Umsetzung für die Turboaufladung

Engines & Marine Systems

Umfassendes Produktportfolio für maritime Anwendungen

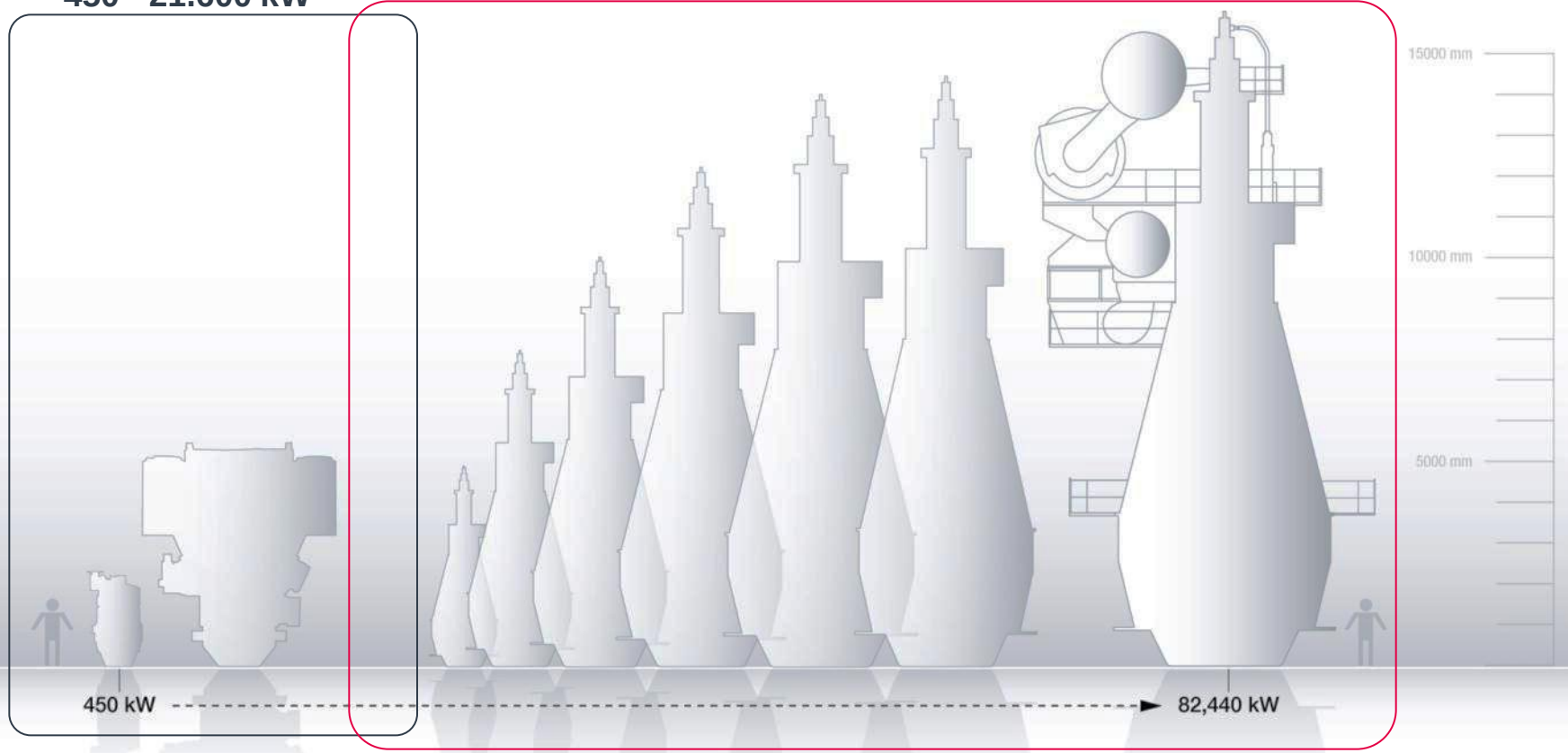
- Zweitakt- und Viertakt-Motoren für maritime Anwendungen
- Hauptantrieb:
  Leistungsbereich von 450 kW bis 82,4 MW
- Maritime GenSets von 450 kW bis 11,2 MW
- Kraftstoffe: Schweröl (HFO), Diesel, Gas, Dual Fuel
- Propeller und komplette Antriebssysteme
- Axial- und Radial-Turbolader für Zweitakt- und Viertakt-Motoren, Einspritzsysteme, Systemelektronik

Umfangreiches Motorenprogramm

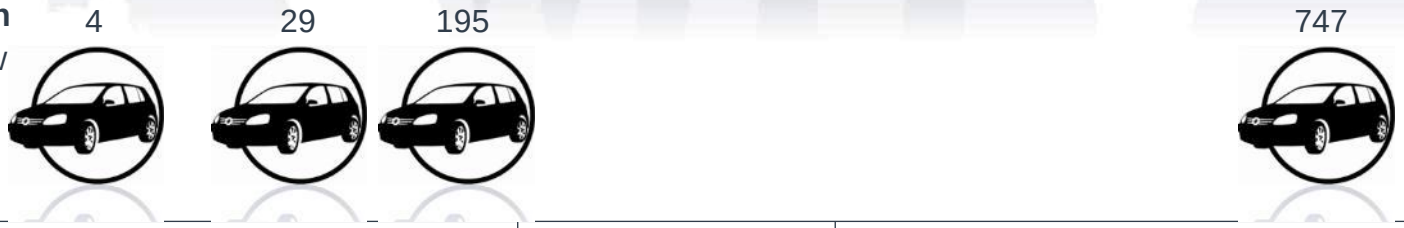
Dieselmotoren von 450 kW bis 82,440 kW

Viertakt-Motoren
450 - 21.600 kW

Zweitakt-Motoren 3.200 - 82.440 kW



Vergleich
(Anzahl VW Golf TDI)



100% High-Speed – Der neue MAN 175D

Designed für die Anforderungen der kommerziellen Schifffahrt

Einfache Inbetriebnahme, einfacher Betrieb, einfache Wartung. Der MAN 175D punktet bei der Umweltfreundlichkeit: Mit einem SCR-System erfüllt er die IMO Tier III-Norm von der Markteinführung an

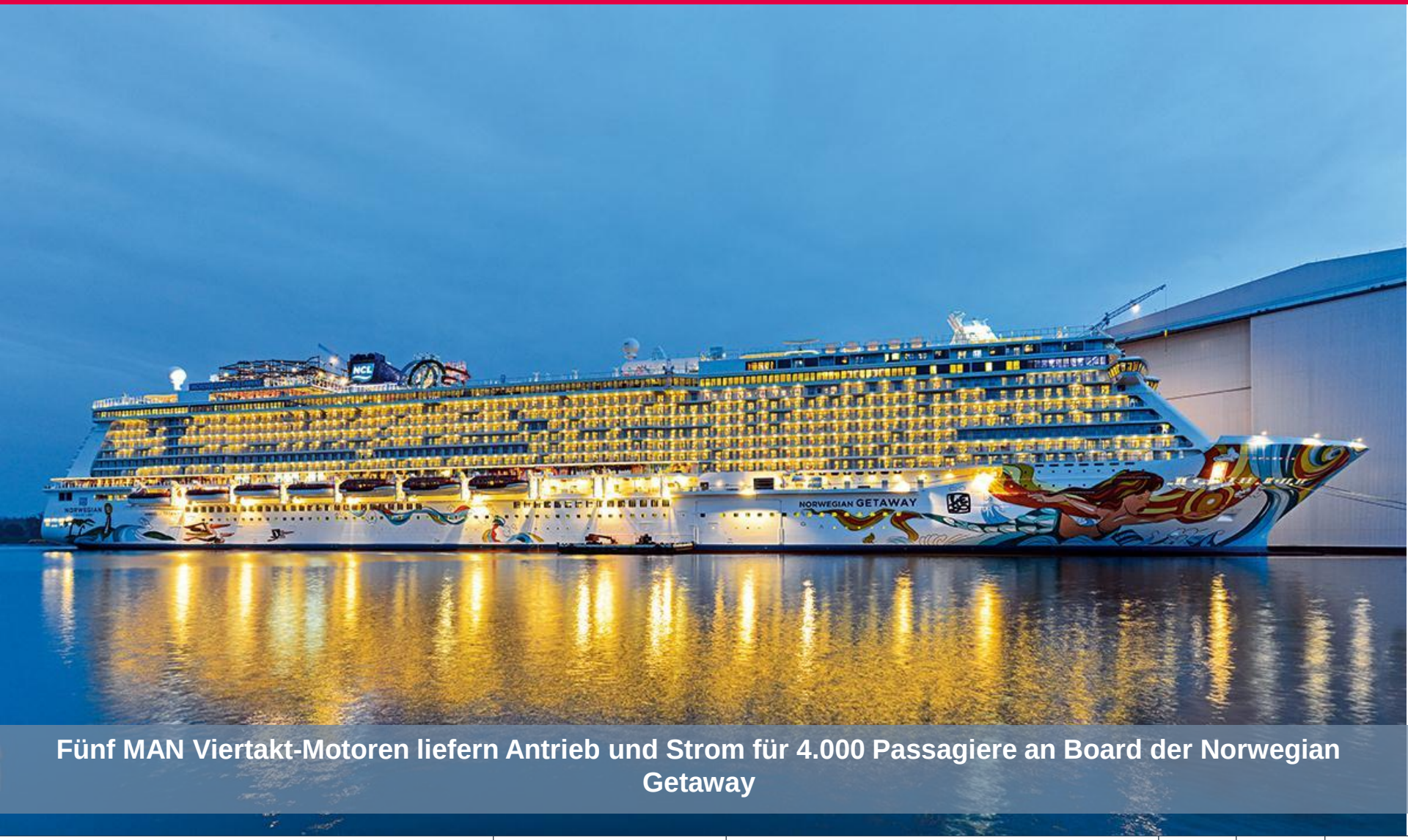
Spezialschiffe für den Offshore-Einsatz

“Pionieering Spirit” wird von neun 32/44 CR Motoren angetrieben

Die Pioneering Spirit ist bei weitem das größte jemals gebaute Schiff der Welt in Bezug auf ihre Bruttotonnage von 403.342 gt, ihre Breite (123,75 m) und Verdrängungsvolumen (900.000 metr. Tonnen)

Power für schwimmende Hotels

48/60 Motoren für Norwegian Cruise Line-Schiffe



Fünf MAN Viertakt-Motoren liefern Antrieb und Strom für 4.000 Passagiere an Board der Norwegian Getaway

Giganten der Effizienz

Maersk Triple E Klasse mit MAN Zweitakt-Motoren

Mit einer Kapazität von 18.000 TEU und einer Maximallast von 165.000 metrischen Tonnen kann die Maersk Mc-Kinney Møller rund 36.000 Autos oder 111 Millionen Paar Sportschuhe transportieren

Inhaltsübersicht

1 MAN Diesel & Turbo auf einen Blick

2 Engines & Marine Systems – Produkte und Anwendungen

3 Herausforderungen für die Zukunft

4 Konsequenzen / Umsetzung für die Turboaufladung

Herausforderungen für die Zukunft

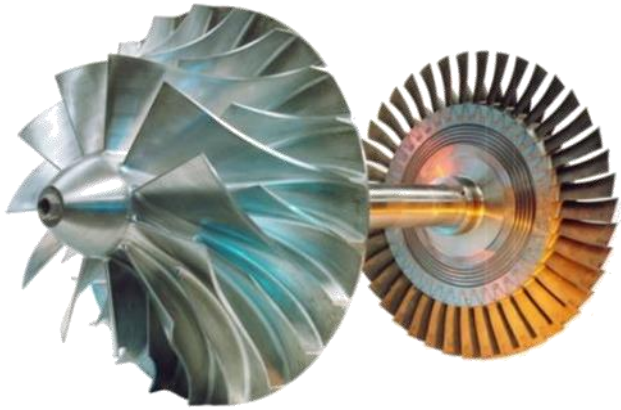
Treiber der Technologieentwicklung

Turbolader -> Motor

- Leistungssteigerung ca. 350%
- 40% Motorleistung über Turbinenwelle
- 2,5 –5 % Gesamtkosten Motor
- ca. 2,5 % Gesamtgewicht Motor
- Wesentliche Komponente zur Reduzierung der Emissionen

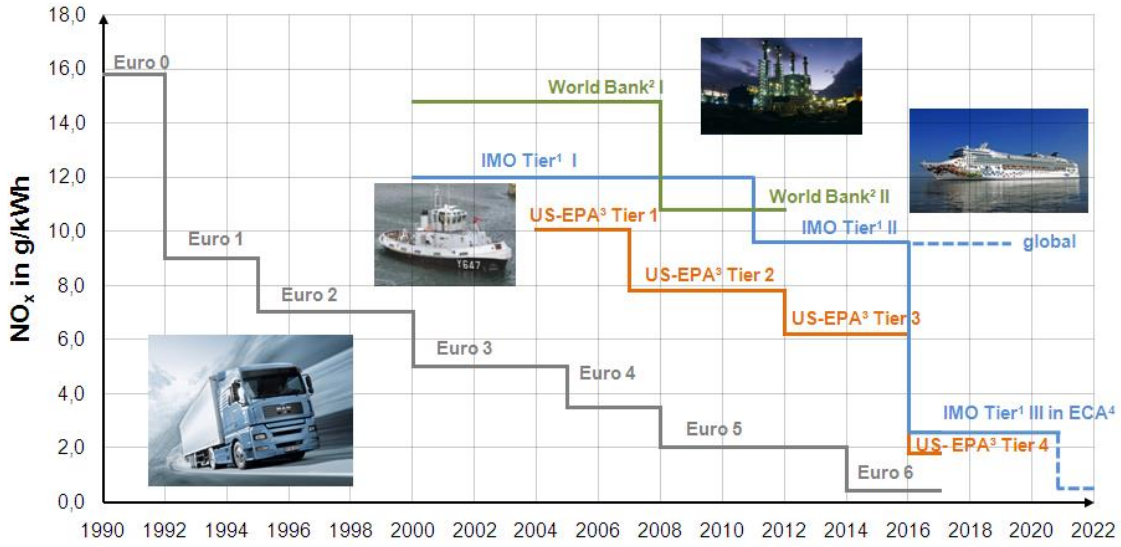
Turbolader Herausforderung

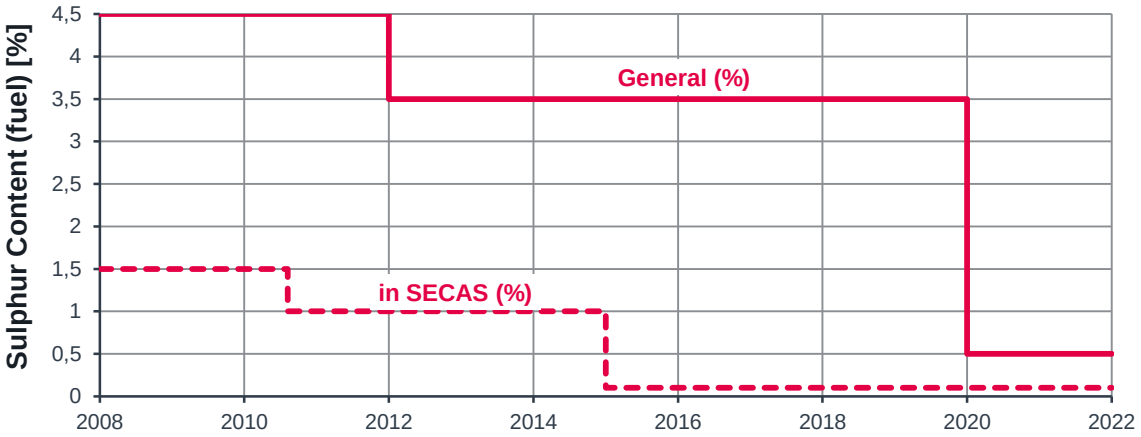
- sehr hohe Leistungsdichte
- hohe thermische Belastung
- Umfangsgeschwindigkeit bis 590 m/s
- Verdichterdruckverhältnis < 5,8 pro Stufe
- durch Motor getriebene Strömungsmaschine
- Dauerfeste Beschaufelung / „rauhe“ Schiffsmgebung
- Verdichterraddurchmesser: 140 – 960 mm



Herausforderungen für die Zukunft

Emissionsstandards in der Schifffahrt

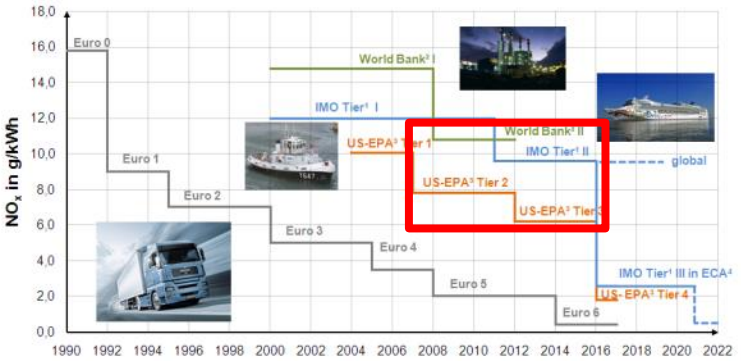




Herausforderungen für die Zukunft

Technologieentwicklung IMO TIER II

Einhaltung der Emisionsanforderungen
durch primär innermotorische Maßnahmen

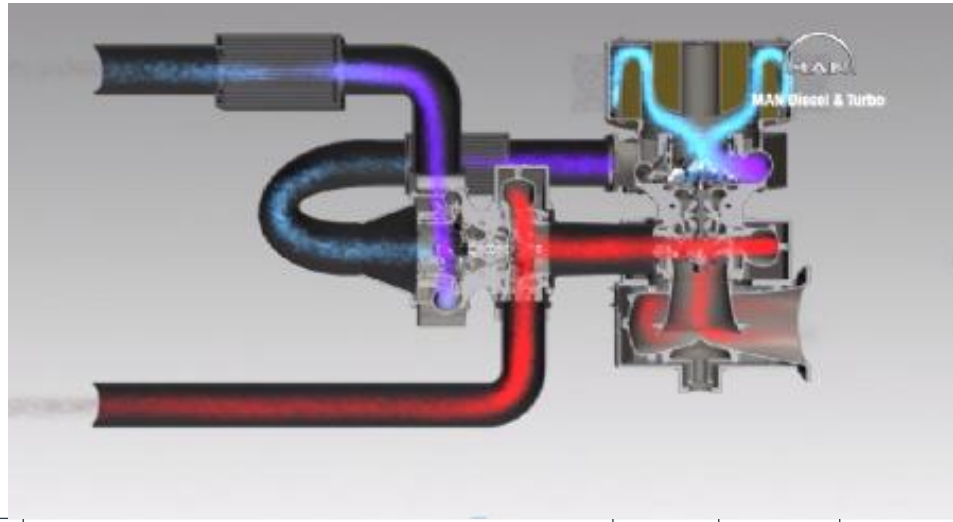


Miller Prozess

- vorzeitiges Schließen des Eingangsventils
- Erhöhter Druck vor Motor durch Turboaufladung
- Zunächst Entspannung im geschlossenen Zylinder
- Reduzierung der Abgastemperatur führt zu einer Reduktion der NOx

Umsetzung:

- Einführung 2 stufige Aufladung
- Verwendung variabler Nocken

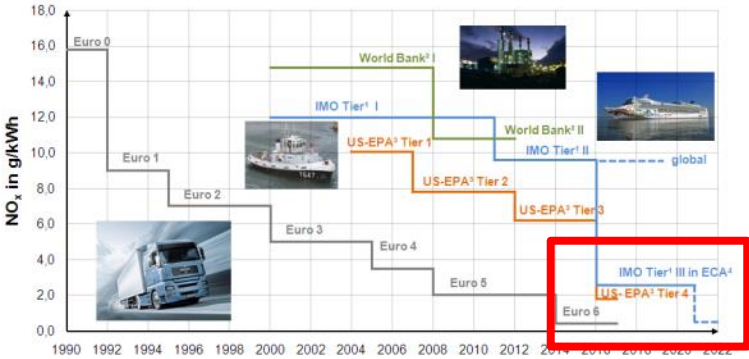


Herausforderungen für die Zukunft

Technische Gegenmaßnahmen IMO TIER III

Gegenmaßnahmen für

NO_x	SO_x
EGR	MGO, low sulphur HFO
SCR	Wet Scrubber
Gas / Dual Fuel (Viertakt Tier III, Zweitakt Tier II)	



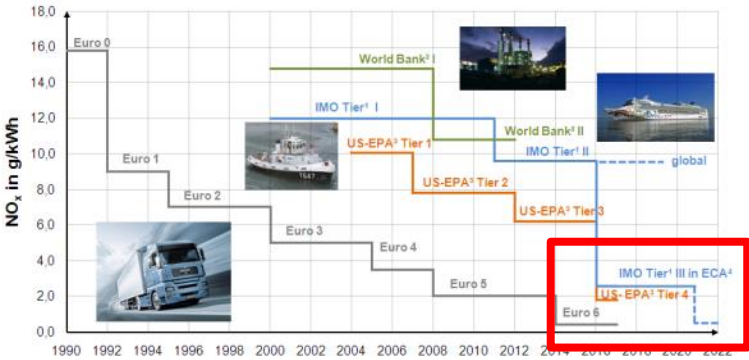
EGR = Exhaust Gas Recirculation / SCR = Selektive Katalytische Reduction

Herausforderungen für die Zukunft

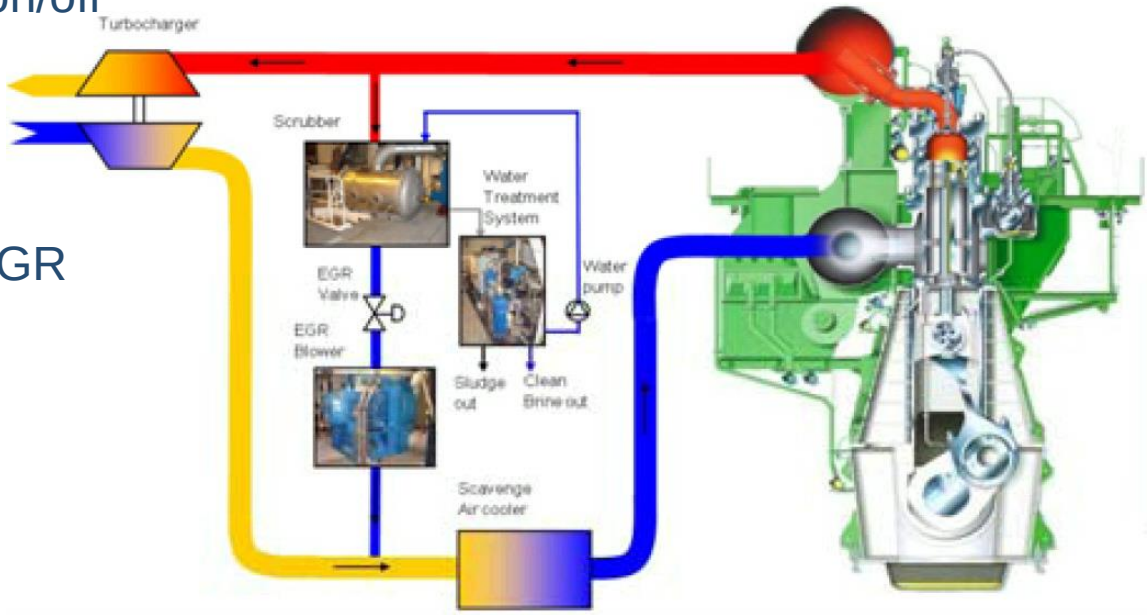
Technische Gegenmaßnahmen IMO TIER III

Exhaust Gas Recirculation (EGR)

- Strategie:
  - Hochdruck EGR System: kein Abgas durch den Turbloader (Vermeidung Korrosion und Erosion an der Beschaufelung)
  - Tier III Betrieb in ECAs, ausserhalb ECAs Tier II Variabilität vorhanden: EGR on/off



- Implementiertes System auf Alexander Maersk
  - ➢Elektrisch angetriebener EGR
  - ➢Wäscher für Abgas
  - ➢> 85% Reduktion der NOx Belastung
  - ➢Teil des EU Projektes HERCULES-B

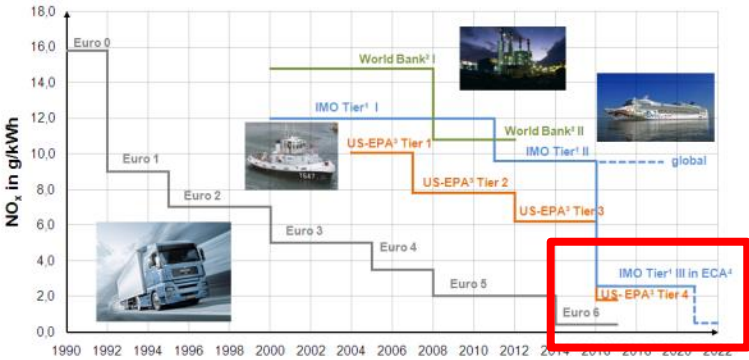


Herausforderungen für die Zukunft

Technische Gegenmaßnahmen IMO TIER III

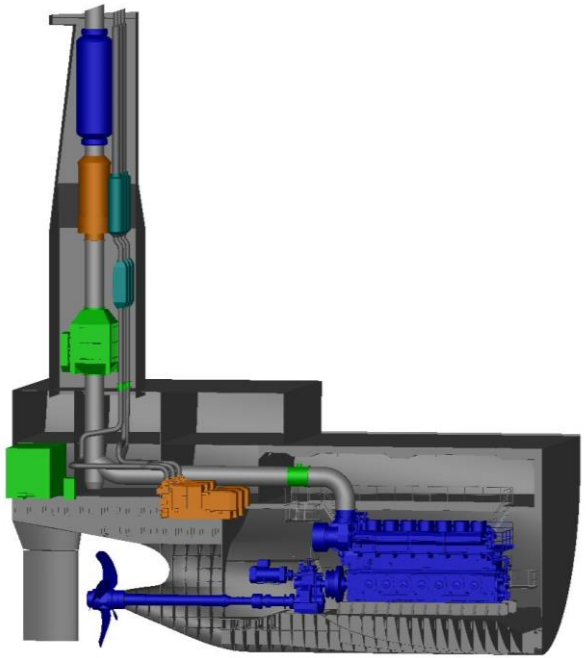
Selektive Katalytische Reduktion (SCR)

- SCR Installation hat größtes Potenzial für zukünftige weitere Emissionsreduzierungen
- Zusätzliche komplexe chemische Systeme müssen an Bord installiert werden
- Abgastemperatur am SCR Eintritt muss Mindestanforderung erfüllen (> 320°C)
  → Kombination mit 2- stufiger Aufladung in Klärung



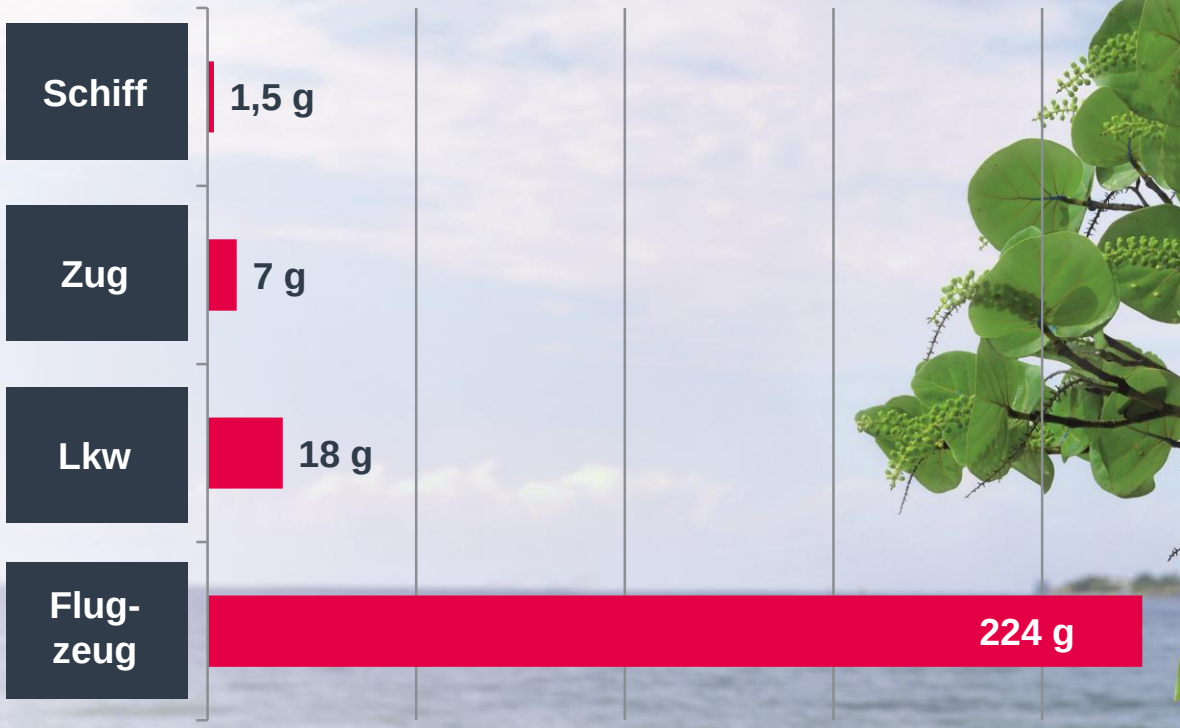
Dual Fuel Engines

- Gasbetrieb innerhalb der ECAs
- Heavy Fuel Oil (HFO) ausserhalb der ECAs
  → Verwendung von HFO als günstigen Kraftstoff möglich



Herausforderungen für die Zukunft

Kraftstoffverbrauch pro Tonnenkilometer



Inhaltsübersicht

1 MAN Diesel & Turbo auf einen Blick

2 Engines & Marine Systems – Produkte und Anwendungen

3 Herausforderungen für die Zukunft

4 Konsequenzen / Umsetzung für die Turboaufladung

Umsetzung Turboladerentwicklung

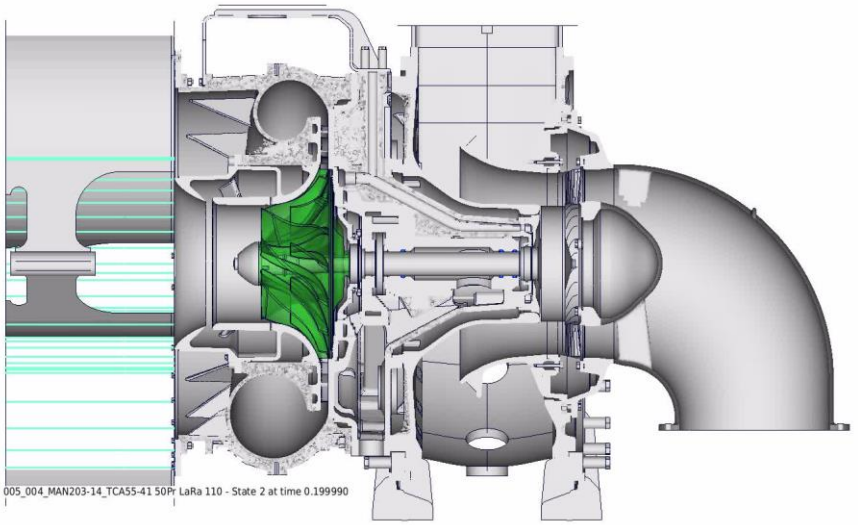
Containmentabsicherung

Anforderungen

- Containment: im Falle eines Versagens der rotierenden Komponenten, dürfen keine Teile austreten
- Containmentvorgang erfolgt < 5 ms

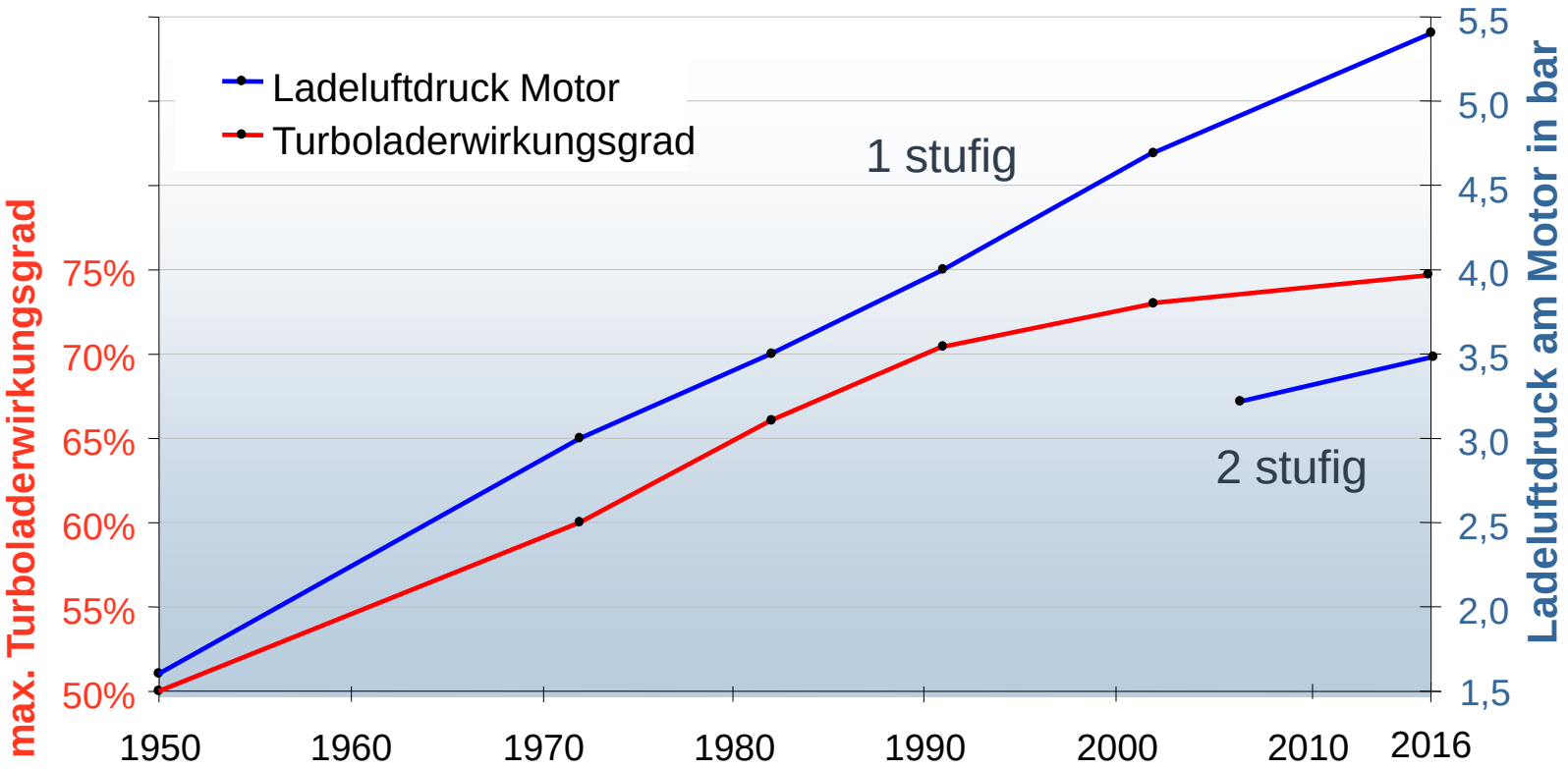
Wesentliche Schritte in der Entwicklung

- Durchführung numerische Containmentsimulation mittels LS Dyna
- Hardware Containment Test unter Testbedingungen an der Brennkammer
- Abgleich numerische Simulation -> Hardwaretest
- Übertragung der Resultate auf weitere Baugrößen und Varianten



Umsetzung Turboladerentwiclung

Darstellung der Kennwerte



Umsetzung Turboladerenwicklung

Technologie Rotierende Komponenten

Allgemein:

- Erhöhung der Massenströme
  → Verwendung von Räder/Schaufeln mit vergrößerter Schaufellängen
- Erhöhung der Verdichterdruckverhältnisse
  → Verwendung von Rädern mit erhöhter Umfangsgeschwindigkeit und Schaufelzahl
- Erhöhung Wirkungsgrad
  → Verwendung von Schaufeln mit reduzierten Schaufeldicken
- Verbesserung der Zuverlässigkeit
  → Verringerung der Versagenswahrscheinkeit gegenüber High Cycle Fatigue (HCF)

HCF Zuverlässigkeit gewinnt deutlich an Bedeutung im Entwicklungsprozess

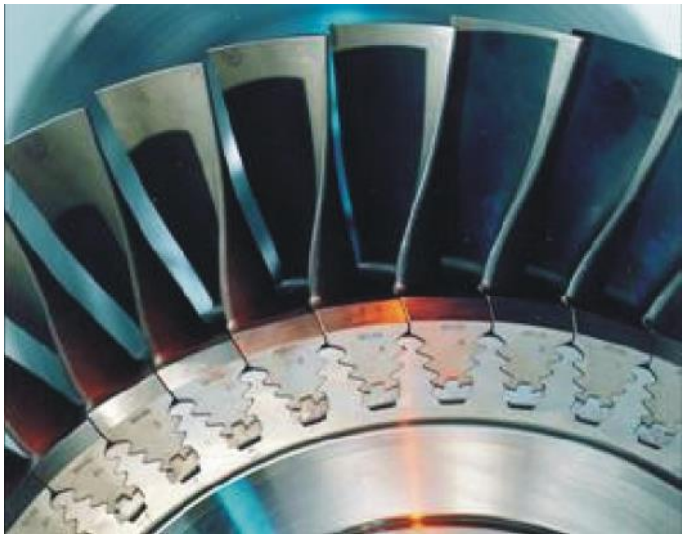
Umsetzung Turboladerenwicklung

Zuverlässigkeit von Axialturbinen

- **Design features**
- Freistehende Schaufeln (wide chord Profil) ohne Deckband oder Dämpferdraht
- Verwendung von Blisks noch die Ausnahme
- Schaufelverbindung zur Scheibe mittel Tannenbaumprofil
- Material Schaufel: Ni- Basis Schmiedeschaufel

Herausforderungen

- Hohe Fliehkraftbelastung im Schaufelblatt und Schaufelfuss
- Biegebelastung in Eigenresonanzen in Schaufelprofil und Schaufelfuss muss dauerfest ertragen werden
- Mistuning: Hoher Lokalisierungsgrad der Moden

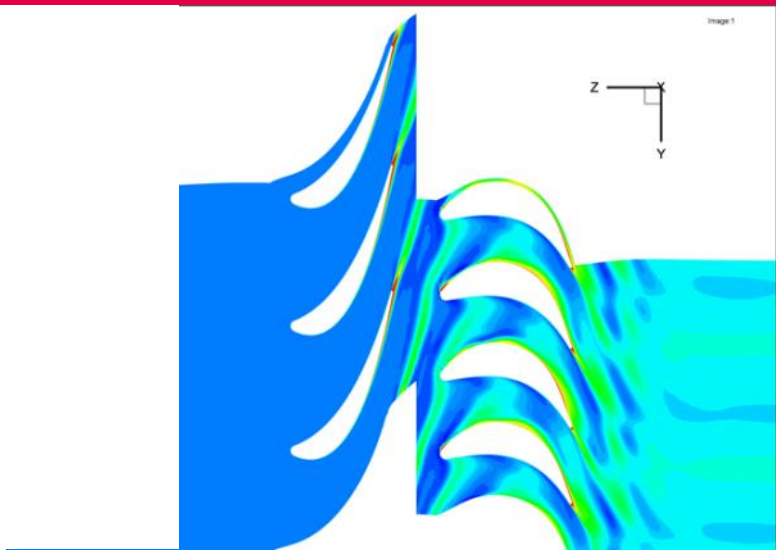


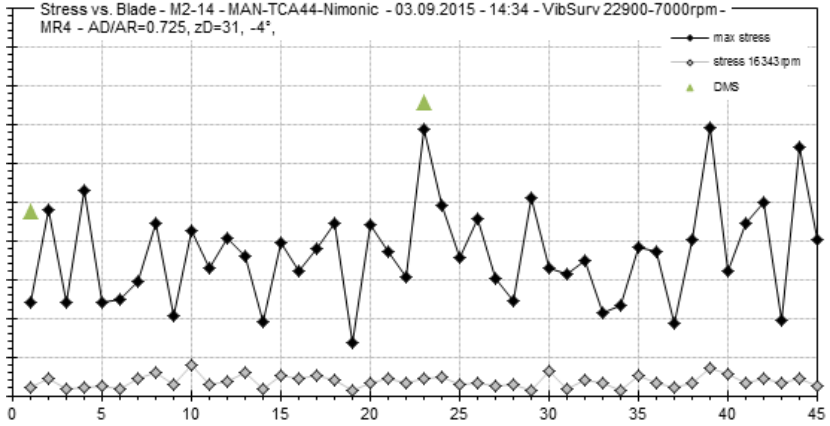
Umsetzung Turboladerenwicklung

Zuverlässigkeit von Axialturbinen

Wesentliche Schritte in der Entwicklung

- Aerodynamische Auslegung / Optimierung des Schaufelprofils
- FEM Auslegung der gesamten Schaufel (Fliehkraft / Temperatur / Modal)
- Uni Direktionale Fluid Struktur Interaktion des idealen System
- Ausnutzung der Kontaktdämpfung, ggfs durch zusätzliche Reibelemente Einfluss verstärken
- Belastungsmessung aller Schaufeln unter Testbedingungen an der Brennkammer - DMS + TipTiming Messung





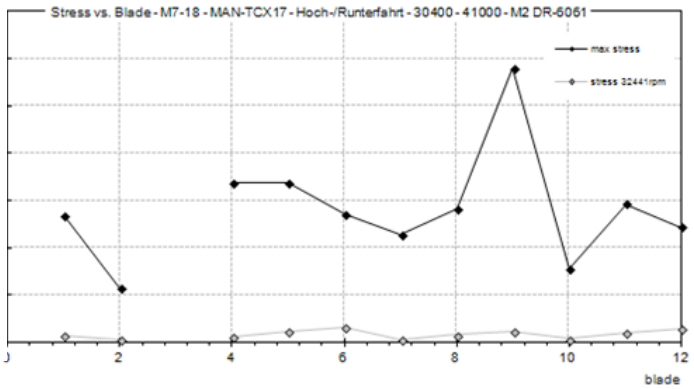
Umsetzung Turboladerenwicklung

Input der BTU Cottbus

- **Design features**
- Radialturbine mit freistehenden Schaufeln
- Herstellverfahren: Feinguss; Schaufelform as cast
- Material Schaufel: Inconel

Herausforderungen

- Hohe Fliehkraftbelastung im Schaufelblatt und Schaufelfuss
- Auslegungskriterium 140% Berstdrehzahl
- Mistuning: Hoher Lokalisierungsgrad durch Herstellverfahren
- Aerodynamische und Materialdämpfung sehr gering; Kontaktdämpfung nicht vorhanden

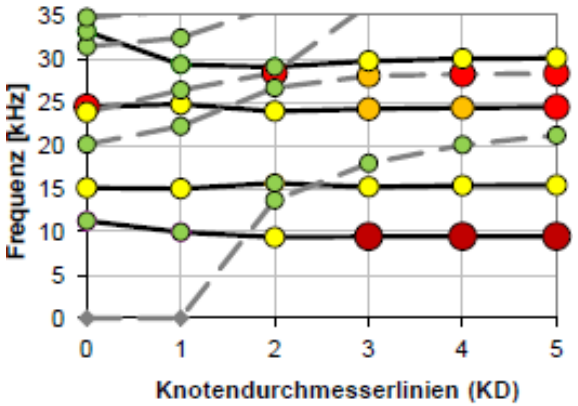


Umsetzung Turboladerenwicklung

Input der BTU Cottbus

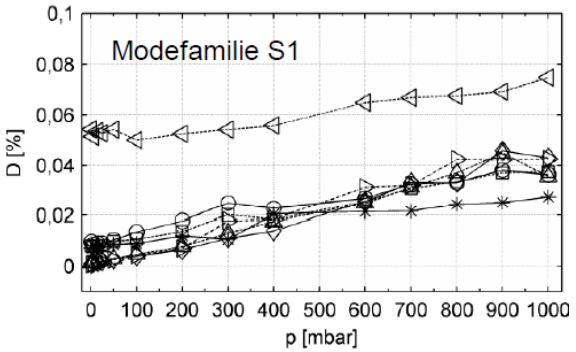
FVV Vorhaben „Mistuning & Dämpfung I (2009 – 2011)

- „Blade by Blade“ Messung einer Radialturbine
- Einführung Begriffe: Lokalisierungsgrad, Verstimmungsgrad
- Einführung Bewertungsschema (Z- Diagramm, modale Dichte)



FVV Vorhaben „Mistuning & Dämpfung II (2012 – 2014)

- Bestimmung Lehr`sches Dämpfungsmaß für Material(Vakuumkammer)
- Übertragung schwingverhalten ins rotierende System (Projekt mit Energie / ehemals GEVA)



Weiterführung der Zusammenarbeit mit der FVV in Planung

FVV = Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmotoren

Turboladerentwicklung für Offroad-Dieselmotorenanwendungen – Herausforderungen und Perspektiven

Thomas Winter, MAN Diesel & Turbo SE,
Head of Validation Assessment Turbocharger Engineering

Festkolloquium der BTU Cottbus- Senftenberg, 2016