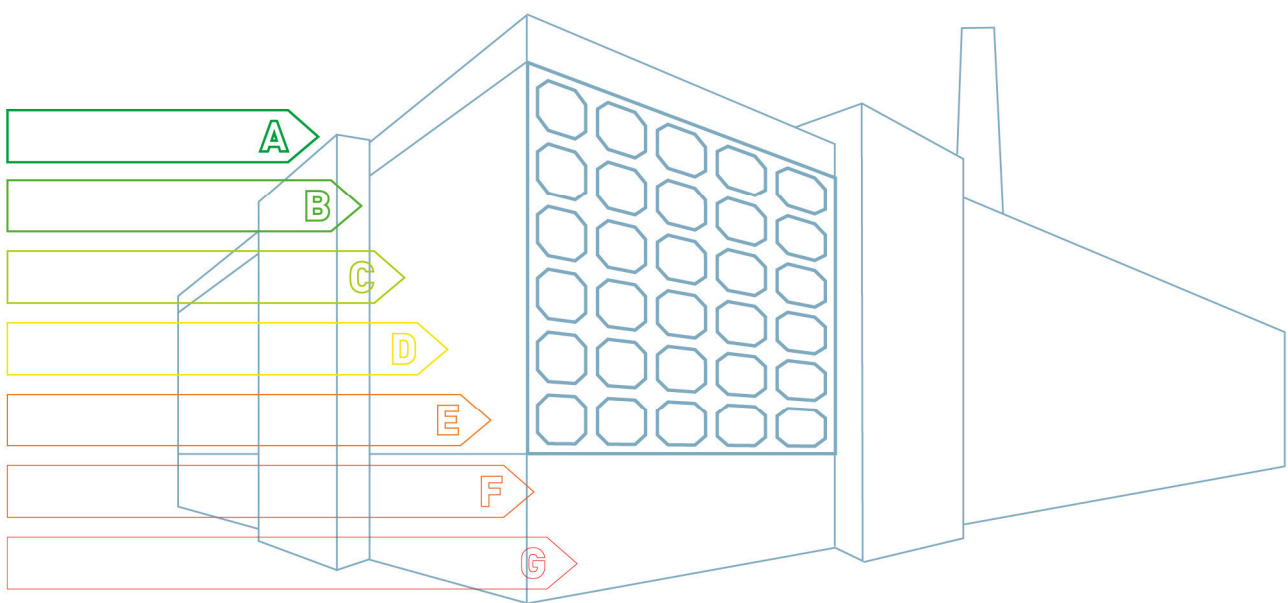




Leistungs- & Wirkungsgradsteigerung bei Emissionsreduktion in Großgasmotoren mit spezieller Betrachtung des Einsatzes von Sondergasen im motorischen Betrieb



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, reading 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, reading 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	3
Abstract	4
1. Einleitung	5
1.1 Aufgabenstellung	5
1.2 Schwerpunkte des Projektes	6
1.3 Einordnung in das Programm	6
1.4 Verwendete Methoden.....	8
1.5 Aufbau der Arbeit.....	10
2. Inhaltliche Darstellung.....	12
2.1 Motorsteuerungs- und Überwachungskonzept.....	12
2.2 Systemeinbindung	12
2.3 Prototypbeschaffung	13
2.4 Gemischbildungs- und Verbrennungsoptimierung	14
2.5 Konstruktion und begleitende Berechnungen.....	15
3. Ergebnisse und Schlussfolgerungen	17
4. Ausblick und Empfehlungen.....	18
5. Literaturverzeichnis	19

Kurzfassung

Hocheffiziente und dezentrale Energieerzeugungsanlagen auf der Basis von Großgasmotoren wurden in den letzten Jahren vermehrt nachgefragt. Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) erzeugen Strom und Wärme dezentral vor Ort und bieten dabei höchstmögliche Effizienz in der Energieumwandlung von über 90 Prozent bei minimalen Umweltauswirkungen. Experten gehen von einem weiteren beträchtlichen Wachstum in der Leistungsklasse größer 5 MW / Motor in den kommenden fünf Jahren aus, vor allem getrieben von der weltweit steigenden Energienachfrage sowie erhöhten Umwelt- und Klimaschutzanforderungen. In dieser Leistungsklasse ist aufgrund des hohen technischen und wirtschaftlichen Risikos weltweit nur eine sehr eingeschränkte Wettbewerberzahl potenziell in der Lage die Nachfrage zu decken. Diese Aspekte bildeten die Ausgangslage für die Projektidee zur Entwicklung eines neuartigen 20-Zylinder Gasmotors mit einem Leistungsziel von > 5 MW und signifikanten ökologischen und ökonomischen Zielvorgaben.

Das Projekt hat gezeigt, dass das Potenzial von stationären Großgasmotoren trotz langjähriger, kontinuierlicher Entwicklung nicht ausgeschöpft ist. Die intelligente Kombination innovativer Technologiebausteine mit der zweistufigen Aufladung als neuem Grundbaustein ermöglicht hierbei die Verschiebung bisheriger Grenzen hin zu höheren Mitteldrücken, höheren Wirkungsgraden und erweiterten Betriebsbereichen. Allerdings können diese Potenziale erst durch die simultane Optimierung von Ladungswechsel, Steuerzeiten, Brennverfahren, Gemischbildungs- und Regelungskonzepten verwirklicht werden. Der neue J920 demonstriert ein Design für einen elektrischen Wirkungsgrad von 48,7 % bei 9,5 MW Leistung und unter Einhaltung der TA Luft eindrucksvoll.

Abstract

Demand for highly efficient and de-centralized power production based on large gas-engines was rising during the last couple of years. Combined heat and power (CHP) plants produce electricity and heat de-centralized where needed and offer highest energy conversion efficiency levels of more than 90% ensuring minimum environmental impact. Experts expect a further significant growth in the segment beyond 5 MW per engine in the next five years, especially due to increasing world energy demand combined with more stringent ecological and climate protection requirements. In this power range, due to technical and economic risk, only a few competitors worldwide are potentially able to satisfy this demand. These aspects provided the foundation for the project idea for the development of a novel 20-cylinder gas-engine with a target power output of more than 5 MW and significant ecological and economic goals.

The project has shown that stationary large gas engines still show potential despite continuous development work. The intelligent combination of innovative technological building blocks with 2-stage turbo-charging as new basic element allows the extension of previous boundaries towards higher effective mean pressures, higher efficiencies and extended operating ranges. However, these potentials can only be realized through simultaneous optimization of gas-exchange, valve-timing, combustion concepts, mixture formation and control concepts. The new J920 demonstrates a design for an electrical efficiency of 48,7% at an output power of 9,5 MW whilst meeting “TA Luft” requirements in an impressive way.

1. Einleitung

Hocheffiziente und dezentrale Energieerzeugungsanlagen auf der Basis von Großgasmotoren wurden in den letzten Jahren vermehrt nachgefragt. Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) erzeugen Strom und Wärme dezentral vor Ort und bieten dabei höchstmögliche Effizienz in der Energieumwandlung von über 90 Prozent bei minimalen Umweltauswirkungen. Experten gehen von einem Wachstum vor allem in der Leistungsklasse größer 5 MW / Motor in den kommenden fünf Jahren aus. In dieser Leistungsklasse ist aufgrund des hohen technischen und wirtschaftlichen Risikos weltweit nur eine sehr eingeschränkte Wettbewerberzahl potentiell in der Lage die Nachfrage zu decken.

Diese Aspekte bildeten die Ausgangslage für die Projektidee zur Entwicklung eines neuartigen 20-Zylinder Gasmotors mit einem Leistungsziel von > 5 MW und signifikanten ökologischen und ökonomischen Zielvorgaben:

- Steigerung des mechanischen und damit des elektrischen Wirkungsgrades
- Steigerung der Gasflexibilität
- Minimierung der Abgasemissionen

Die Optimierung und Weiterentwicklung innovativer Verbrennungstechnologien [1] und der erstmalige Einsatz eines vergleichsweise schnell drehenden Motors in dieser Leistungsklasse spielen bei der Erreichung dieser Ziele eine entscheidende Rolle. Durch Erhöhung des effektiven Mitteldrucks wird die Leistungsdichte des Motors erhöht und die spezifischen Kosten und Emissionen weiter gesenkt.

Das Projekt wurde in Form einer Kooperation mit renommierten österreichischen Institutionen gewählt, deren Expertise sowohl im Bereich der fortgeschrittenen Verbrennungstechnologien als auch im Bereich der Motorenkonstruktion und –simulation angesiedelt ist.

1.1 Aufgabenstellung

Primäres Projektziel ist die Darstellung eines 20-Zylinder Motors mit 9,5 MW (Abb. 1). Weiters die Nachweiserbringung durch Prototypen, sodass für einen schnell laufenden Großgasmotor sowohl für die erzielbare Leistung als auch die Höhe des Gesamtwirkungsgrades bei gleichzeitiger Emissionsreduktion ein Alleinstellungsmerkmal im Wettbewerb erreicht werden kann.

Abbildung 1: J920 Gasmotor

1.2 Schwerpunkte des Projektes

Zur Erreichung der Projektziele wurden folgende Aspekte als Schwerpunkte gesetzt

- Projektmanagement und technische Projektbetreuung
- Motorsteuerungs- und Überwachungskonzept
- Systemeinbindung
- Prototypbeschaffung
- Validierung von Sub-Systemen und Komponenten
- Verbrennungsoptimierung
- Konstruktion und begleitende Berechnungen
- Prototyp-Validierung

1.3 Einordnung in das Programm

Das Forschungs- und Technologieprogramm Neue Energien 2020 des Klima- und Energiefonds baut u.a. auf den Ergebnissen des Strategieprozesses e2050 auf und berücksichtigt die besonderen Anliegen und Schwerpunktsetzungen des Klima- und Energiefonds. Der Programmschwerpunkt umfasst effizienten Energieeinsatz, erneuerbare Energieträger sowie intelligente Energiesysteme. Über das Thema Energieeffizienz hinaus ist die Steigerung der Ressourceneffizienz und -suffizienz Inhalt dieses Schwerpunktes. Das Projekt „Large Engine“ ist im Themenbereich „Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe“ angesiedelt und orientiert sich an den im folgenden aufgelisteten Programmzielen.

1. Energie-strategische Ziele	2. Systembezogene Ziele	3. Technologie-strategische Ziele
1.1 Sicherstellung der Kriterien der Nachhaltigkeit: ökonomisch, ökologisch und sozial dauerhaft 1.2 Erhöhung der Ressourcen- und Energieeffizienz des Wirtschaftssystems 1.3 Reduktion der Importabhängigkeit bei Energieträgern 1.4 Reduktion des Energiebedarfs durch verbraucherseitige Maßnahmen 1.5 Aufbau und Sicherung langfristig klimaschützender Raum- und Wirtschaftsstrukturen 1.6 Erzielung struktureller und langfristig quantitativ maßgeblicher Effekte 1.7 Verbesserung des Wissens über langfristige Entwicklungen, ihre Kosten und Wirkungen	2.1 Reduktion des Verbrauchs fossiler und nuklearer Energieträger 2.2 Erschließung von Ressourcen erneuerbarer Energieträger 2.3 Verbesserung der Umwandlungseffizienz 2.4 Entwicklung intelligenter und robuster Energiesysteme 2.5 Entwicklung von Schlüsseltechnologien 2.6 Herstellung einer Optionsvielfalt bei Technologien und Energieträgern 2.7 Multiplizierbarkeit, Hebelwirkung und Signalwirkung 2.8 (Kosten-)Effizienz der Treibhausgas-Reduktion: Euro pro Tonne CO₂-Äquivalent pro Jahr, über die Kyoto-Periode und über die technisch-wirtschaftliche Nutzungsdauer der Investition	3.1 Unterstützung von Innovationssprüngen (z. B. „Faktor10- Technologien“) 3.2 Verbesserung der Innovationsfähigkeit von Betrieben 3.3 Erhöhung des inländischen Wertschöpfungsanteils im Energiesystem 3.4 Forcierung von Kooperationen und Partnerschaften zwischen Wissenschaft und Wirtschaft 3.5 Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch verbesserte Ressourceneffizienz 3.6 Verstärkung interdisziplinärer Kooperationen und des Systemdenkens 3.7 Verstärkung internationaler Kooperationen und Ausbau der internationalen Führungsrolle 3.8 Förderung von Qualifikationen im Energie- und Klimaschutzbereich und Ausbau des Forschungsstandortes 3.9 Stärkung der Technologie- und Klimakompetenz österreichischer Unternehmen 3.10 Generierung von Sekundärnutzen bzw. Spin Offs durch eine Technologie 3.11 Kooperationen mit Gebietskörperschaften und Unternehmen aus Industrie, Energie- und Versicherungswirtschaft

Abbildung 2: NE2020 Programmziele [2]

Die Verwendung von Erdgas sowie Sondergasen leistet einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasen. Die Effizienz des Energieumsatzes ist hierbei von entscheidender Bedeutung. Das geförderte Projekt „Large Engine“ trägt durch die Entwicklung innovativer Technologien, z.B. im Bereich der Verbrennung, und den damit erreichbaren hohen Gesamtwirkungsgraden wesentlich zur Erreichung der NE2020 Programmziele bei. Das Projekt „Large Engine“ wurde in Zusammenarbeit mit namhaften, österreichischen Institutionen durchgeführt und trägt damit sowohl zur Erhöhung des inländischen Wertschöpfungsanteils als auch der Stärkung der Technologie und Klimakompetenz österreichischer Unternehmen bei.

1.4 Verwendete Methoden

Für die thermodynamische Auslegung des J920-Motors wurde die am LEC (Large Engines Competence Center) abgeleitete und in Zusammenarbeit mit der Gasmotorensparte von GE in Jenbach erfolgreich angewandte Methodik LDM (LEC Development Methodology) zur Entwicklung und Optimierung von Verbrennungskonzepten für Großmotoren eingesetzt [3]. Diese Methodik basiert auf einer gezielten Kombination von Simulation und experimentellen Untersuchungen an Einzylinder-Forschungsmotoren (SCE – Single Cylinder Engine) sowie Vollmotoren (MCE – Multi Cylinder Engine), siehe Abb. 3.

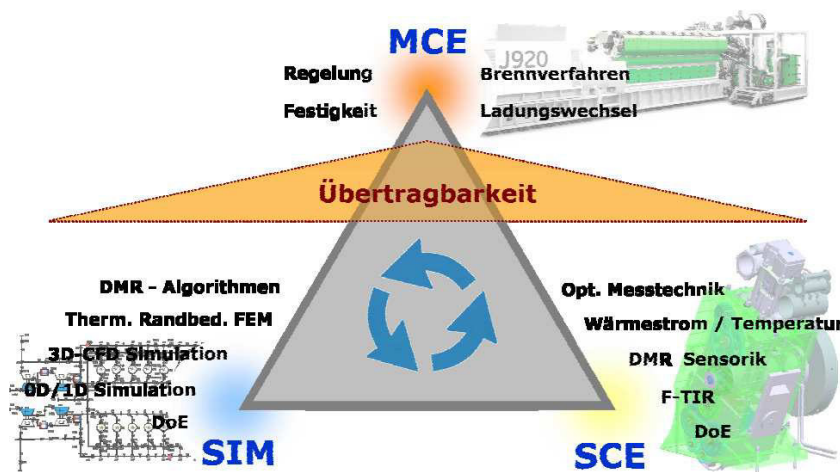


Abbildung 3: LEC Entwicklungsmethodik (LDM)

Zur Simulation werden sowohl die dreidimensionale CFD Methode (Computational Fluid Dynamics) als auch die null- und eindimensionale Motorprozessrechnung eingesetzt. Während die 3D-CFD-Simulation vor allem für die Detailoptimierung der relevanten Vorgänge (wie etwa Gemischbildung und Verbrennung in Vorkammer und Hauptbrennraum, Bestimmung des Klopfverhaltens etc.) eingesetzt wird, werden null- und eindimensionale Motorprozesssimulationen für die Voroptimierung maßgeblicher Motorparameter (Verdichtungsverhältnis, Steuerzeiten etc.) angewandt. Ein wesentlicher Vorteil der null- und eindimensionalen Modelle ist in den kurzen Rechenzeiten zu sehen, die die Untersuchung einer großen Anzahl von Parametervariationen erlauben.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendbarkeit der dargestellten Methodik bildet die Sicherstellung der Übertragbarkeit der Ergebnisse vom Einzylinder-Versuch auf den Vollmotor.

Hierzu ist es notwendig, vergleichbare Randbedingungen wie am Vollmotor zu realisieren. Neben gleichen thermischen Randbedingungen ist dies insbesondere die Darstellung gleicher Bedingungen zu Beginn des Hochdruckteils (Temperatur, Druck und Zusammensetzung des Arbeitsgases). Diese werden im Rahmen der dargestellten Methodik in einem iterativen Prozess auf Basis der 1D-Ladungswechselsimulation von Vollmotor und Einzylinder-Aufbau bestimmt.

Aufgrund der hohen Komplexität des Systems und der Vielzahl der freien Parameter wurde auch intensiv auf den Einsatz der DoE-Methode (Design of Experiments) für die simulatorische Bestimmung der optimalen Auslegung des Brennverfahrens mit Hilfe der 1D-Ladungswechselrechnung zurückgegriffen. Freie Parameter, die auf Basis dieser Vorgehensweise optimiert wurden, waren insbesondere das Verdichtungsverhältnis, die Verbrennungsführung, die Steuerzeiten und die Turboladerauslegung in Abhängigkeit von der betrachteten Gasqualität (Methanzahl). Als Ziel der Auslegung wird immer ein möglichst hoher Motorwirkungsgrad angestrebt, wobei die Randbedingungen

- zulässiger NO_x -Grenzwert,
- maximal erlaubter Zylinder-Spitzenruck und
- kloppfreier Betrieb

einzuhalten sind.

Zu Beginn wird der „Messplan“ (in diesem Fall „Simulationsplan“) mit Hilfe der Eingangsparameter und deren Variationsbreiten auf Basis statistischer Ansätze aufgebaut. Die Berechnung der interessierenden Antwortgrößen erfolgt im 1D-Ladungswechselprogramm, wobei die wesentliche Voraussetzung die Verfügbarkeit geeigneter Simulationsmodelle zur Abbildung der Brennrate, der NO_x -Bildung und des Klopfens ist. Am LEC wurden dazu entsprechende Modelle entwickelt, vgl. etwa [4], [5].

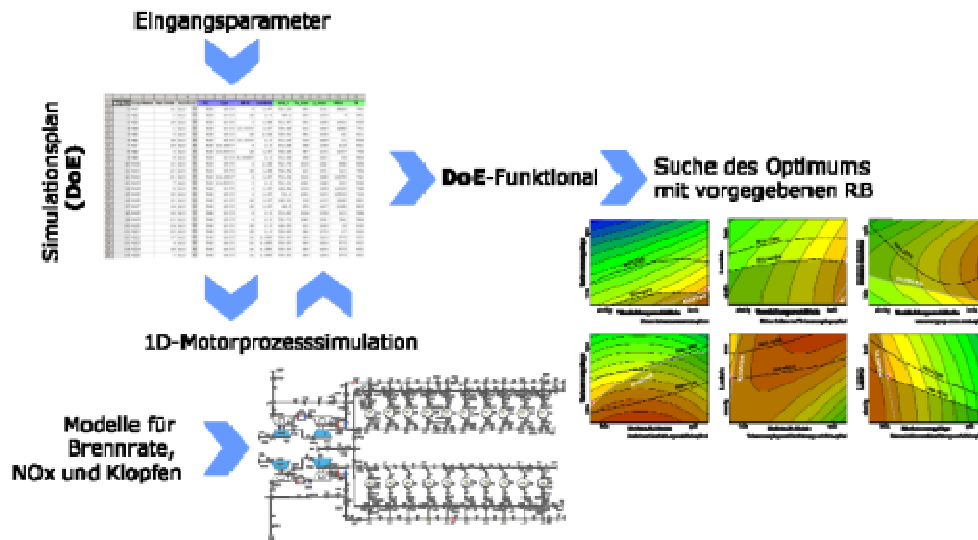


Abbildung 4: Vorgehensweise bei der Anwendung der DoE-Methode für die Simulation

Die notwendige Detailabstimmung der Parameter des Brennratenmodells, die in der Regel auf Basis von Messungen am realen Versuchsträger erfolgen muss, wurde im vorliegenden Fall durch den Abgleich mit den Verbrennungsrechnungen aus der 3D-CFD-Simulation durchgeführt. Zwischen den auf diese Weise ermittelten Antwortgrößen und den Eingangsparametern wird ein funktionaler Zusammenhang abgeleitet, mit dem in weiterer Folge die Suche des Optimums erfolgt. In Abb. 4 sind beispielhaft die Ergebnisse aus einer Untersuchung mit den Parametern Verdichtungsverhältnis, Luftverhältnis, Miller-Steuerzeit und Verbrennungslage in vereinfachter Form (zweidimensionale Abhängigkeiten) dargestellt.

1.5 Aufbau der Arbeit

Im ersten Projektabschnitt wurde die Konstruktion des 20-Zylindermotors bis zum 3D-Konzept vorangetrieben, mit Fokussierung auf die „Powerunit“, bestehend aus Pleuel, Kolben, Zylinderbuchse und Zylinderkopf inklusive der Ventilsteuerung. Um schnellstmöglich den Einzylindermotor betreiben zu können, wurden Auslegung, Konstruktion und Berechnung vorgezogen und die Teile beschafft.

Die Detaillierung der Konstruktionen und die Vorbereitungen für die ersten Pilotanlagen erfolgten im nächsten Projektabschnitt. Parallel zur ersten Konstruktionsphase wurde mittels FMEA Methodik (Failure Mode and Effects Analysis bzw. FehlerMöglichkeiten- und EinflussAnalyse) der Validierungsplan erarbeitet. Parallel zur Fertigstellung der Detailkonstruktion des 20-

Zylindermotors erfolgten die Beschaffung der MCE Prototypenteile sowie die Durchführung von Komponententests.

Zur Durchführung des Projektes wurde eine konsequente „Concurrent Engineering“ Strategie mit Einkauf, Lieferanten und Fertigung eingesetzt. Die Beschaffung der Teile erfolgte parallel zur Fertigstellung der Konstruktionsarbeiten. Erkenntnisse aus den Einzylinder- und Komponentenprüfständen flossen unmittelbar ein. Neben den Arbeiten am Motor waren die hydraulischen und elektrischen Anlagenumfänge darzustellen. Als Beispiel dafür seien Generator, Abgasanlage und Kühlsysteme aufgeführt.

2. Inhaltliche Darstellung

2.1 Motorsteuerungs- und Überwachungskonzept

Die Regelung (Motorkernregelung und Klopfüberwachung) wurde unter Berücksichtigung der Randbedingungen 2-stufiger Aufladung, Gasmischung und Zylinderdrucksensorik entworfen und am J920 Prototypmotor validiert. Die Gasdosierung benötigt eine hochgenaue jedoch gleichzeitig äußerst robuste Ansteuerung der Gasventile. Die Berechnung der Ventilöffnungsdauer muss dabei in Echtzeit zyklusbasiert erfolgen und auf veränderte Bedingungen der Ladeluft (Druck, Temperatur) als auch des Gases (Druck, Temperatur) ebenso schnell reagieren. Mit Hilfe der im Rahmen dieses Förderprojekts entwickelten Regelungsstrategie konnte die geforderte Genauigkeit eingehalten werden.

Im Falle der Leerlaufdrehzahlregelung galt es, möglichst rasch die Zieldrehzahl zu erreichen, zugleich aber Drehzahlüberschwingen über die Toleranzgrenze hinaus weitestgehend zu vermeiden. Die Leerlaufdrehzahl muss anschließend bis zur erfolgreichen Synchronisierung innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbandes gehalten werden. Mit Hilfe der im Rahmen dieses Förderprojekts entwickelten Regelungsstrategie konnte die geforderte Genauigkeit eingehalten werden, die zugrundeliegenden Regelungsalgorithmen konnten am J920 erfolgreich validiert werden.

Der Kalibrierungsaufwand bei Erstinbetriebnahme des Motors konnte ebenfalls deutlich reduziert sowie das System Motor für einen vollautomatischen Betrieb vorbereitet werden.

2.2 Systemeinbindung

Der J920 wurde zur Vereinfachung von Transport, Aufstellung und Wartung modular ausgelegt. Das zentrale Motormodul wird durch das Generatormodul und das Auflade- und Kühlmodul (TCA-Modul) ergänzt. Das Generator- und das TCA-Modul (siehe Abb. 5) wurden im Rahmen der Systems Konstruktion ausgelegt und validiert.

Das Auflademodul enthält folgenden Komponenten:

- Gasversorgung
- Aufladung
- Motorkühlung
- Ölkühlung

- Blowbyabscheidung

Highlight des Auflademoduls ist die 2-stufige Aufladeeinheit.

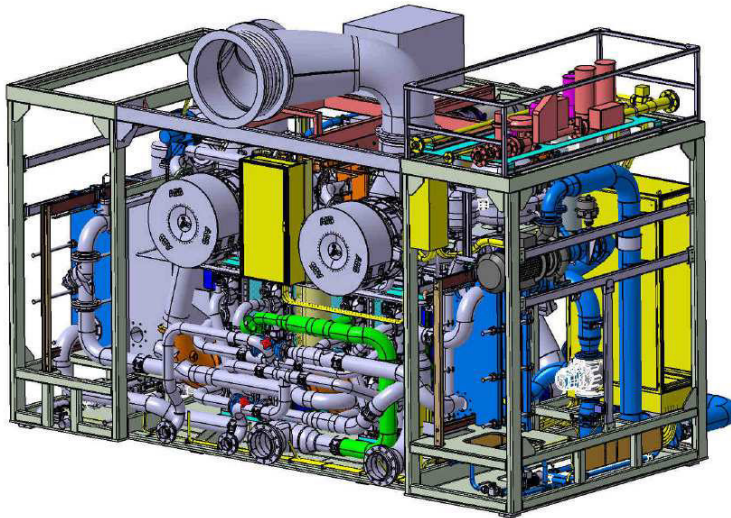


Abbildung 5: Versorgungsmodul des J920

Mit einer einstufigen Aufladung wären die notwendigen Verdichterdruckverhältnisse nur mit reduziertem Wirkungsgrad des Aufladesystems darstellbar. Daher fiel die Entscheidung zur Entwicklung der zweistufigen Aufladung als Basistechnologie, welche ein großes Weiterentwicklungspotential besitzt [6]. Der Generator wurde für die Anwendung entwickelt und angepasst.

2.3 Prototypbeschaffung

Die Beschaffung und die Montage der Bauteile für den 1. Prototypen wurden nach Plan abgeschlossen. Die Highlights im Projekt waren die Anlieferung und Fertigung der Hauptkomponenten, der Montagestart und die Anlieferung der fertig montierten Hauptkomponenten Motor (Abb. 6) und TCA-Modul am Prüfstand.



Abbildung 6: Anlieferung des Motors zum Prüfstand

Um einen Prototypen mit diesen Dimensionen bauen zu können, wurde er in zwei Sektionen unterteilt – den Motor und das TCA-Modul (Aufladungseinheit und Aggregate) – welche am Prüfstand vereint und mit dem Generator gekoppelt wurden.

2.4 Gemischbildungs- und Verbrennungsoptimierung

Ziel bei der Optimierung der Gemischbildungseinheit ist es, ein möglichst homogenes Gemisch zum Zündzeitpunkt im Brennraum darzustellen, um eine effiziente Verbrennung mit ausreichend großem Klopfabstand zu erreichen.

Auf Basis der Ergebnisse aus der Vorauslegung mittels Simulationsmodellen wurden die aussichtsreichsten Varianten von Kolbenformen, Vorkammergeometrien und Gemischbildungsvarianten ausgewählt und für die experimentellen Untersuchungen am Einzylinder-Forschungsmotor vorbereitet. Zur Sicherstellung der Übertragbarkeit der Ergebnisse vom Einzylinder-Forschungsmotor auf den Vollmotor wurden vorab 1D-Simulationen durchgeführt. Zur Bestimmung der erreichbaren Motorfunktionswerte (Wirkungsgrad, Stabilität, Emissionen, Betriebsbereich etc.) wurden ausgewählte Varianten am Einzylinder-Forschungsmotor untersucht. Variiert wurden dabei die Kolbenform, Vorkammergeometrie und die Gemischbildungseinheit (PI). Aus diesen Untersuchungen wurde die optimale Motorkonfiguration bestimmt.

Durch die Anwendung der 1D-Ladungswechselrechnung sowie der 0D-Motorprozesssimulation konnten Hub-/Bohrungsverhältnis, Verdichtungsverhältnis und Steuerzeiten vorausgelegt werden. Mit Hilfe der 3D-CFD-Methode erfolgte die Detailoptimierung der Gemischbildung sowie

der Verbrennung und damit die Definition des für diesen Motor gewählten Einblasungskonzepts und der Brennraumgeometrie.

Neben der Auslegung der Vorkammer und des Hauptbrennraums hat die Gemischbildungseinheit bei dem gewählten Einblasungskonzept eine entscheidende Bedeutung für Verbrennung und Klopfen. Grundsätzliches Ziel war die Erreichung einer möglichst homogenen Gemischverteilung im Zylinder zum Zündzeitpunkt bei einem vorgegebenen maximalen Überdruck der Gaszufuhr bezogen auf den Ladedruck zur Minimierung der Verluste durch die Druckerzeugung. Mit der optimierten Variante konnte das Klopfverhalten deutlich verbessert werden.

2.5 Konstruktion und begleitende Berechnungen

Geplantes Ziel für den ersten Projektabschnitt war es, neben der Konzeptkonstruktion auch die Layoutkonstruktion inklusive aller begleitenden Berechnungen abzuschliessen. Zielsetzung der begleitenden Auslegungsrechnungen war es, die Konstruktion festzulegen bzw. diese abzusichern. Diese Optimierungsrechnungen wurden in mehreren Iterationen mit konstruktiven Verbesserungen durchgeführt, bis schließlich sämtliche Bauteile die spezifizierten Anforderungen erfüllten.

Im Zuge der Layout Konstruktion wurden alle wesentlichen Motorbaugruppen im 3D-CAD durchkonstruiert. In die Konstruktion flossen die Ergebnisse der Berechnungen (mechanische Berechnungen, CFD- und FE-Berechnungen) ein.

Neben der eigentlichen Layoutkonstruktion der Motorbaugruppen war ein weiterer Schwerpunkt die Systemeinbindung von Generator und den Hilfsbetrieben (Pumpen, Wärmetauscher usw.). Umfangreiche mechanische Auslegungs- und FE-Berechnungen zur Absicherung der Layoutkonstruktion wurden durchgeführt. Ein wesentlicher Schwerpunkt war dabei die FE-Absicherung von Pleuel, Zylinderkopf, Laufbuchsen und Kurbelgehäuse.

Zur Bestimmung der thermischen Randbedingungen wurden für Zylinderkopf und Buchse sowohl auf der Wasser- als auch auf der Gasseite CFD-Simulationen durchgeführt. Als Vorbereitung für die Verbrennungsentwicklung am Prototypmotor wurden Sensoren für eine optische Sondermesstechnik konstruiert. Neben der Konstruktion der Sensoren wurde auch mit der Beschaffung der erforderlichen optischen Elemente (Linsen, Lichtleiter) begonnen. Die wesentliche Zielsetzung, die mit dieser optischen Sensorik verfolgt wird, ist, dass am realen Prototypmotor sehr detaillierte Informationen über den Verbrennungsvorgang gewonnen werden können. Dadurch kann zeitsparend und zielgerichtet die Verbrennung optimiert werden.

Zielsetzung innerhalb des nächsten Projektabschnitts war es das Layout Design weiter zu optimieren, so dass die hochgesteckten Ziele dargestellt werden können.

Wesentlicher Schwerpunkt war die Durchführung der FE- und CFD-Berechnungen. Die aus diesen Simulationen abgeleiteten konstruktiven Maßnahmen wurden im Zuge des Layout Design umgesetzt. Der Fokus der durchgeführten FE-Simulationen am Grundmotor lag bei Zylinderkopf, Pleuel, Wassermantel und Zylinderbuchse.

Neben den Berechnungen für den Grundmotor wurden auch umfangreiche Simulationen an der Aufladeeinheit durchgeführt. Schwerpunkt dabei war einerseits die strömungstechnische Optimierung (CFD-Simulation) und andererseits die Absicherung der Festigkeit.

3. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die wesentlichen Ergebnisse des Projektes lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Vollmotormessungen bestätigen den errechneten hohen Wirkungsgrad.
- Inbetriebnahme des Vollmotorprüfstandes.
- Inbetriebnahme der Einzylindermotoren-Prüfstände.
- Die konsequente Anwendung und Interaktion von 0D-, 1D- und 3D-Simulationsmodellen ermöglichte eine erfolgreiche Vorauslegung des Motorkonzepts.
- Das Ergebnis der Vorauslegung des Motorkonzepts stellt die Basis für die erste Anwendung am Vollmotor dar und ist auch Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung des Konzepts hin zu höchsten Wirkungsgraden.
- Erfolgreicher Nachweis der Funktionalität der Kolbengruppe und des Ventiltriebs.
- Ermittlung der Belastungsgrenze der Pleuelgeometrie über Pulsversuch.
- Erfolgreiche Messung unter realen Betriebsbedingungen durch speziell entwickelte optische Messtechnik.
- Berechnung der Temperaturen von Auslassventil und Vorkammerspitze mithilfe der Ergebnisse der optischen Messungen.

Durch effektive Planung und konsequente, hochgradig parallele Projektausführung war es möglich, den ersten Motor der neuen Motorenfamilie plangemäß bis zum Prototypen voranzutreiben.

4. Ausblick und Empfehlungen

Die intelligente Kombination innovativer Technologiebausteine mit der zweistufigen Aufladung als neuem Grundbaustein ermöglicht die Verschiebung bisheriger Grenzen hin zu höheren Mitteldrücken, höheren Wirkungsgraden und erweiterten Betriebsbereichen. Allerdings können diese Potenziale erst durch die simultane Optimierung von Ladungswechsel, Steuerzeiten, Brennverfahren, Gemischbildungs- und Regelungskonzepten verwirklicht werden. Der neue J920 demonstriert ein Design für einen elektrischen Wirkungsgrad von 48,7 % bei 9,5 MW Leistung unter Einhaltung der TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) eindrucksvoll.

Die Entwicklung dieser neuen Motorenbaureihe sichert damit nachhaltig den Standort für Gasmotoren ab.

5. Literaturverzeichnis

- [1] Wimmer, A.; Redtenbacher, C.; Trapp, C.; Klausner, J.; Schaumberger, H.: „Aktuelle Herausforderungen bei der Entwicklung von Brennverfahren für Großgasmotoren“, 1. Rostocker Großmotorentagung, Rostock, September 2010.
- [2] 1.AS NE2020 Leitfaden für die Projekteinreichung, Wien März 2008, Abrufbar im Internet, URL: <http://www.ffg.at/content/ne-2020-vorlagen-berichtslegung>
- [3] Chmela, F., Dimitrov, D., Pirker, G., Wimmer, A.: „Konsistente Methodik zur Voraussrechnung der Verbrennung in Kolbenkraftmaschinen“; MTZ 67 Nr. 06, 2006
- [4] Chmela, F.; Pirker, G.; Dimitrov, D.; Wimmer, A.: „Globalphysikalische Modellierung der motorischen Verbrennung“. - in: „Simulation und Aufladung von Verbrennungsmotoren“. Seite 67 – 93, Springer Verlag, Berlin, 2008.
- [5] Schneßl, E.; Pirker, G.; Wimmer, A.: „Optimierung von Brennverfahren für Sondergasanwendungen auf Basis Simulation und Versuch am Einzylinder- Forschungsmotor“, MTZ-Konferenz „On-/Off-Highway Engines“, Friedrichshafen, November 2009.
- [6] Trapp, C; Laiminger, S.; Chvatal, D.; Wimmer, A.; Schneßl, E.; Pirker, G.: „Die neue Jenbacher Gasmotoren generation von GE – mit zweistufiger Aufladung zu höchsten Wirkungsgraden“, 32. Internationales Wiener Motorensymposium 2011, Wien

IMPRESSUM

Verfasser

GE Jenbacher GmbH & Co. OG

Dieter Chvatal

Achenseestr. 1 – 3, 6200 Jenbach

Web: www.gejenbacher.com

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22

1060 Wien

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH