

ATZ live

Johannes Liebl
Christian Beidl *Hrsg.*

VPC – Simulation und Test 2015

Methoden der Antriebsentwicklung im Dialog

17. MTZ-Fachtagung

Proceedings

 Springer Vieweg

Proceedings

Ein stetig steigender Fundus an Informationen ist heute notwendig, um die immer komplexer werdende Technik heutiger Kraftfahrzeuge zu verstehen. Funktionen, Arbeitsweise, Komponenten und Systeme entwickeln sich rasant. In immer schnelleren Zyklen verbreitet sich aktuelles Wissen gerade aus Konferenzen, Tagungen und Symposien in die Fachwelt. Den raschen Zugriff auf diese Informationen bietet diese Reihe Proceedings, die sich zur Aufgabe gestellt hat, das zum Verständnis topaktueller Technik rund um das Automobil erforderliche spezielle Wissen in der Systematik aus Konferenzen und Tagungen zusammen zu stellen und als Buch in Springer.com wie auch elektronisch in SpringerLink und Springer Professional bereit zu stellen.

Die Reihe wendet sich an Fahrzeug- und Motoreningenieure sowie Studierende, die aktuelles Fachwissen im Zusammenhang mit Fragestellungen ihres Arbeitsfeldes suchen. Professoren und Dozenten an Universitäten und Hochschulen mit Schwerpunkt Kraftfahrzeug- und Motorentechnik finden hier die Zusammenstellung von Veranstaltungen, die sie selber nicht besuchen konnten. Gutachtern, Forschern und Entwicklungsingenieuren in der Automobil- und Zulieferindustrie sowie Dienstleistern können die Proceedings wertvolle Antworten auf topaktuelle Fragen geben.

Today, a steadily growing store of information is called for in order to understand the increasingly complex technologies used in modern automobiles. Functions, modes of operation, components and systems are rapidly evolving, while at the same time the latest expertise is disseminated directly from conferences, congresses and symposia to the professional world in ever-faster cycles. This series of proceedings offers rapid access to this information, gathering the specific knowledge needed to keep up with cutting-edge advances in automotive technologies, employing the same systematic approach used at conferences and congresses and presenting it in print (available at Springer.com) and electronic (at SpringerLink and Springer Professional) formats.

The series addresses the needs of automotive engineers, motor design engineers and students looking for the latest expertise in connection with key questions in their field, while professors and instructors working in the areas of automotive and motor design engineering will also find summaries of industry events they weren't able to attend. The proceedings also offer valuable answers to the topical questions that concern assessors, researchers and developmental engineers in the automotive and supplier industry, as well as service providers.

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/13360>

Johannes Liebl · Christian Beidl
(Hrsg.)

VPC – Simulation und Test 2015

Methoden der Antriebsentwicklung im Dialog
17. MTZ-Fachtagung

Herausgeber
Johannes Liebl
Moosburg, Deutschland

Christian Beidl
Technische Universität Darmstadt
Darmstadt, Deutschland

ISSN 2198-7432 ISSN 2198-7440 (electronic)
Proceedings
ISBN 978-3-658-20735-9 ISBN 978-3-658-20736-6 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-20736-6>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Verantwortlich im Verlag: Markus Braun

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Die Neuausrichtung der VPC greift

Die im letzten Jahr mit einem zusätzlichen Themenkomplex „Testen“ neu aufgestellte VPC-Konferenz zeigte, dass das interdisziplinäre Zusammenwachsen von Simulation und Test noch nicht abgeschlossen ist. Wir werden deshalb auch in diesem Jahr die Fachtagung intensiv nutzen, den Einsatz von Simulation und Test im gesamten Produktentwicklungsprozess zu beleuchten und zu bewerten. Sie können sich dazu an den Beispielen Struktur- und Strömungsmechanik, Testumgebung, Längsdynamik, Thermomanagement, Tribologie sowie Modellbildung und Applikation ein eigenes Bild machen.

Neben der Weiterentwicklung von Simulationswerkzeugen und Prüfständen bietet deren Vernetzung zusätzliche Chancen, die komplexer werdenden Herausforderungen der Antriebsentwicklungen zu beherrschen. Die Fachtagung wird dazu den aktuellen Stand und mögliche Potenziale aufzeigen. Da die Fahrzeugvarianten ständig zunehmen, stellt die Integration des Powertrains in verschiedene Fahrzeugmodelle einen weiteren Arbeitsschwerpunkt dar.

Im Namen des Wissenschaftlichen Beirats laden wir Sie herzlich zur 17. MTZ-Fachtagung „VPC – Simulation und Test“ ein. Profitieren Sie von dieser etablierten Experten-Plattform, die erfolgreiche Anwendungen, neue Prozesse und Zukunftstrends rund um Simulation und Test in der Powertrain-Entwicklung aufzeigt. Diskutieren Sie mit Referenten und Kollegen über den wirtschaftlichen und zielorientierten Einsatz von Simulations- und Testwerkzeugen im Produktentwicklungsprozess. Nutzen Sie die Gelegenheit, Ihr Netzwerk zu erweitern und wertvolle Branchenkontakte zu knüpfen. Wir freuen uns auf Ihr Kommen!

Für den Wissenschaftlichen Beirat
Dr. Gotthard Rainer
Dr. Johannes Liebl

Inhaltsverzeichnis

Das Prüffeld der Antriebsentwicklung im Wandel

Johannes Guggenmos, Dr. J. Rückert, Dr. S. Thalmair und M. Wagner

GDI Engine – Design by Thermal Assessment

Andrej Poredos, Cristiano Pecollo, Peter Tibaut und Simon Urbas

Simulative Auslegung von innovativen Konturen auf Wastegate-Klappen

Stephan Föllner, Dr. Ingo Hermann, Gerwin Tittes und Vural Yanik

Berücksichtigung des Fertigungsprozesses in der Betriebsfestigkeitsberechnung von Motorkomponenten

Dr. Stefan Reichl, Thomas Wabro, Günther Pramhas, Günther Pessl und Johannes Dworschak

Auswirkung der Validierungsumgebung und Manöverumsetzung auf Komfortbewertungen hybridspezifischer Triebstrangphänomene

Prof. Dr. Dr. Albert Albers, Fabian Schille, Rolf Hettel und Dr. Matthias Behrendt

Multi-XiL as a Central Tool for the Integration, Calibration and Validation of Hybrid Powertrains

Georgina Llopart Vázquez, T.R. Weck, A. Kolar und Dr. S. Jones

Vorausschauendes Schalten – Optimieren von Getriebesteuerungen durch Fahrerassistenzsysteme

Salim Chaker, Michael Folie, Christian Kehrer und Frank Huber

Indirekte Ladeluftkühlung im Dieselmotor für niedrigere CO₂-Emissionen

Christian Doppler, Bernhard Fischbacher, Gernot Hirschl und Gerhard Zsiga

Methode zur durchgängigen Motor-/Kühlsystemauslegung unter transienten Betriebsbedingungen in Realszenarien

Dr. Christian Donn, Niko Papadopoulos und Peter Stopp

Motor-Thermomanagement – Detaillierte Simulation der Auswirkungen auf Bauteiltemperaturen und Verbrauch im Realbetrieb

Jürgen Knauf, Rüdiger Beykirch und Jörg Lehmann

Einsatz von Simulationstools zur zielgerichteten, effizienten Entwicklung von Motorkomponenten und -funktionen

Christian Lensch-Franzen, Morten Kronstedt, Michael Wittmann und Prof. Dr. Jens Hadler

Einsatz von Spezialmesstechnik im Mechanik-Testing am Beispiel detaillierter Untersuchungen druckdynamischer Effekte im Kolbenringpaket

Daniel Henaux, Dr. K. Orłowsky und Dr. M. Plettenberg

Simulation of a High-Pressure Fuel Pump under Thermo-Elastohydrodynamic Conditions

Dr. Jochen Lang, Prof. Dr. Gunter Knoll, Dr. Richard Schönen, Dirk Jaitner, Dr. Hans-Josef Schiffgens und Stephan Schlüter

DoE und darüber hinaus – Evolution des modellbasierten Entwicklungsansatzes

Tiziana Fortuna, Dr. Hans-Michael Koegeler, Dr. Michael Kordon und Gianluca Vitale

Aufbau einer fahrzyklusfähigen Simulationsmethodik zur Modellierung der Partikelemissionen direkteinspritzender Ottomotoren

Stefan Frommater, Dr. Jens Neumann und Prof. Dr. Christian Hasse

Untersuchung von Verbrennungsmotoren-Gleitlagern auf IAV-Modellprüfstand

Dr. Hubert Schultheiß, Reiner Großmann und Jens Päckert

Kontaktreibungssimulation an einer Nockenwelle

Carsten Schneider und Dr. Peter A. Klumpp

Virtuelle Flottenverbrauchsoptimierung unter Kostenbetrachtung

Michael Martin, Robert Premstaller und Dr. Arno Eichberger

Strömungsmodelle zur Analyse und Optimierung von komplexen Systemen in transienten Zuständen

Dr. Michael Grill, B. Kaal, Dr. D. Rether und M.T. Keskin

Engine Control using a Real-Time 1D Engine Model

Adam Kouba, Dr. Jiri Navratil und Dr. Bohumil Hnilička

Virtuelle Steuergeräte für die Antriebsentwicklung

Dr. Jakob Mauss

Autorenverzeichnis

Johannes Guggenmos BMW Group, München, Deutschland
Dr. J. Rückert BMW Group, München, Deutschland
Dr. S. Thalmair BMW Group, München, Deutschland
M. Wagner BMW Group, München, Deutschland
Andrej Poredos AVL-AST d.o.o., Maribor, Slowenien
Cristiano Pecollo Fiat Chrysler Automotive, Turin, Italien
Peter Tibaut AVL-AST d.o.o., Maribor, Slowenien
Simon Urbas AVL-AST d.o.o., Maribor, Slowenien
Stephan Föllner Opel Automobile GmbH, Rüsselsheim, Deutschland
Dr. Ingo Hermann Opel Automobile GmbH, Rüsselsheim, Deutschland
Gerwin Tittes Opel Automobile GmbH, Rüsselsheim, Deutschland
Vural Yanik Opel Automobile GmbH, Rüsselsheim, Deutschland
Dr. Stefan Reichl BMW Motoren GmbH, Steyr, Österreich
Thomas Wabro BMW Motoren GmbH, Steyr, Österreich
Günther Pramhas BMW Motoren GmbH, Steyr, Österreich
Günther Pessl BMW Motoren GmbH, Steyr, Österreich
Johannes Dworschak BMW Motoren GmbH, Steyr, Österreich
Prof. Dr. Dr. Albert Albers Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland
Fabian Schille Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland
Rolf Hettel Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland
Dr. Matthias Behrendt Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland
Georgina Llopart Vázquez AVL List GmbH, Graz, Österreich
T. R. Weck AVL List GmbH, Graz, Österreich
A. Kolar AVL List GmbH, Graz, Österreich
Dr. S. Jones AVL List GmbH, Graz, Österreich

Salim Chaker ITI GmbH, Dresden, Deutschland
Michael Folie IPG Automotive GmbH, Karlsruhe, Deutschland
Christian Kehrer ITI GmbH, Dresden, Deutschland
Frank Huber IPG Automotive GmbH, Karlsruhe, Deutschland
Christian Doppler Das virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft mbH, Graz, Österreich
Bernhard Fischbacher Das virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft mbH, Graz, Österreich
Gernot Hirschl AVL List GmbH, Graz, Österreich
Gerhard Zsiga MAHLE Behr GmbH & Co. KG, Stuttgart, Deutschland
Dr. Christian Donn IPG Automotive GmbH, Karlsruhe, Deutschland
Niko Papadopoulos Gamma Technologies GmbH, Stuttgart, Deutschland
Peter Stopp Gamma Technologies GmbH, Stuttgart, Deutschland
Jürgen Knauf FEV Europe GmbH, Aachen, Deutschland
Rüdiger Beykirch FEV Europe GmbH, Aachen, Deutschland
Jörg Lehmann FEV Europe GmbH, Aachen, Deutschland
Christian Lensch-Franzen APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH, Landau, Deutschland
Morten Kronstedt APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH, Landau, Deutschland
Michael Wittemann APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH, Landau, Deutschland
Prof. Dr. Jens Hadler APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH, Landau, Deutschland
Daniel Henaux RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland
Dr. K. Orłowsky FEV GmbH, Aachen, Deutschland
Dr. M. Plettenberg FEV GmbH, Aachen, Deutschland
Dr. Jochen Lang IST Ingenieurgesellschaft für Strukturanalyse und Tribologie mbH, Aachen, Deutschland
Prof. Dr. Gunter Knoll IST Ingenieurgesellschaft für Strukturanalyse und Tribologie mbH, Aachen, Deutschland
Dr. Richard Schönen IST Ingenieurgesellschaft für Strukturanalyse und Tribologie mbH, Aachen, Deutschland
Dirk Jaitner Universität Kassel, Kassel, Deutschland
Dr. Hans-Josef Schiffgens Delphi Automotive Systems Luxembourg S.A., Luxembourg, Luxemburg
Stephan Schlüter Delphi Automotive Systems Luxembourg S.A., Luxembourg, Luxemburg
Tiziana Fortuna AVL List GmbH, Graz, Österreich
Dr. Hans-Michael Koegeler AVL List GmbH, Graz, Österreich
Dr. Michael Kordon AVL List GmbH, Graz, Österreich
Gianluca Vitale AVL List GmbH, Graz, Österreich
Stefan Frommater BMW Group, München, Deutschland
Dr. Jens Neumann BMW Group, München, Deutschland
Prof. Dr. Christian Hasse TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland
Dr. Hubert Schultheiß IAV GmbH, Stollberg, Deutschland
Reiner Großmann IAV GmbH, Stollberg, Deutschland
Jens Päckert IAV GmbH, Stollberg, Deutschland
Carsten Schneider TU München, München, Deutschland
Dr. Peter A. Klumpp AUDI AG, Ingolstadt, Deutschland

Michael Martin MAGNA Steyr Engineering AG & Co KG, Graz, Österreich

Robert Premstaller MAGNA Steyr Engineering AG & Co KG, Graz, Österreich

Dr. Arno Eichberger TU Graz, TU Graz, Österreich

Dr. Michael Grill Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS), Stuttgart, Deutschland

B. Kaal Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS), Stuttgart, Deutschland

Dr. D. Rether Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS), Stuttgart, Deutschland

M. T. Keskin Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

Adam Kouba Czech Technical University in Prague, Prag, Tschechien

Dr. Jiri Navratil Ricardo Prague s.r.o., Prag, Tschechien

Dr. Bohumil Hnilička Ricardo Prague s.r.o., Prag, Tschechien

Dr. Jakob Mauss Qtronic GmbH, Berlin, Deutschland



Das Prüffeld der Antriebsentwicklung im Wandel

Johannes Guggenmos, Dr. J. Rückert, Dr. S. Thalmair, M. Wagner,
BMW Group

1 Einleitung

Die Variantenanzahl im Automobilbau steigt weiter, unterschiedliche Technologien existieren parallel zueinander und die anstehenden Verbrauchs- und Emissionsgesetzgebungen bedingen immer aufwendigere und längere Applikations- und Zulassungsprozesse. Dies führt zu einem stark ansteigenden Testumfang in der Entwicklung. Demgegenüber wird immer mehr Produktreife durch virtuelle Ergebniserzeugung eingebracht und es stellt sich die Frage, ob auch langfristig Bedarf an Prüf- und Testequipment besteht, bzw. in welche Art von Einrichtungen investiert werden soll. Ist ähnlich wie bei PEAK OIL, ein PEAK TESTING Effekt zu erwarten?

Zur Beantwortung dieser Frage befasst sich dieser Beitrag mit ähnlichen Fragestellungen aus der Vergangenheit, mit methodischen Ansätzen, die in der Praxis bereits gute Erfolge erbringen und mit Anforderungen an das Prüffeld der Zukunft.

2 Prüffeld der Antriebsentwicklung

Das Prüffeld der Antriebsentwicklung beinhaltet alle Prüfeinrichtungen, Test- und Werkstatteleistungen für die Hardwareversuche der Applikations-, Entwicklungsthemen und Absicherung im Antrieb. Dadurch ergibt sich ein sehr großes Spektrum an Prüfeinrichtungen für Komponenten (z.B. Labortestplatz) über Motor- und Antriebsprüfstände bis zum gesamten Antriebsstrang im Fahrzeug (inkl. Fahrversuch). Jede dieser Prüfeinrichtungen ist ein komplexes mechatronisches System bestehend aus einer Vielzahl an Sensoren, Aktuatoren und Steuerungseinrichtungen (z.B. Belastungseinheit, Messtechnik und Automatisierungssystem). Für viele Versuchsinhalte bzw. -ziele ist es zusätzlich vorteilhaft, Simulationsmodelle zu integrieren. Dies betrifft in unterschiedlichem Abstraktionsgrad alle im Fahrzeug vorhandene Systeme (inkl. Fahrer und Umgebung). Es können einfache Fahrzeugmodelle der Längsdynamik bis hin zu kompletten Steuergeräte-HILs (Hardware-in-the-Loop) sein. Auch das Integrationskonzept ist dabei sehr heterogen. Mögliche Systeme sind das Automatisierungssystem, Echtzeitrechner der Bremsenregelung und zusätzliche Rapid Prototyping Systeme unterschiedlichster Leistungsfähigkeit. Dadurch hat über alle Prüfstandstypen die Komplexität der Softwaresysteme und „Signal“-Kommunikation deutlich zugenommen. Außerdem hat eine starke Vernetzung und Zusammenarbeit zwischen „reiner Berechnung“ und Hardware-Versuch stattgefunden. Auch hier werden immer mehr Tools bzw. Methoden für eine durchgängige Arbeitsweise etabliert.

2.1 Prüffeldentwicklung der letzten 20 Jahre

Erst im Rückblick auf die Entwicklung unseres Prüffeldes in den letzten 20 Jahren wird der große Wandel der Strukturen erkennbar. Noch vor zwanzig Jahren war die Entwicklungsarbeit an einer Handvoll Derivate von einem starken Fokus auf den Verbrennungsmotor und einer überschaubaren Anzahl von Prüfständen an einem Standort geprägt. Heute sehen wir eine verteilte und vielfältige Prüffeldlandschaft, die insbesondere durch die Internationalisierung, die Verkürzung der Entwicklungsprozesse und den Übergang auf vernetzte Antriebsstrangtechnologien nötig wurde. Diese Entwicklung wird durch die steigende Anzahl an Technologien und vielfältigen, weltweiten Anforderungen unserer Kunden und Gesetzgeber weiter befeuert.

Ab Mitte der 90er Jahre nahm der Anteil der Steuergerätesoftware an der Funktion beim Verbrennungsmotor und den Automatikgetrieben rapide zu (Abb.1). Ab Anfang 2000 war die Funktions-Software ein integraler Bestandteil des Gesamtantriebs. Funktionen, wie variable Steuerzeiten und Ventilhub, waren ohne neue SW-Funktionen nicht denkbar. In dieser Zeit wurden auch immer mehr Modelle (z.B. Moment, Luftführung, Abgastemperatur) in der Motorsteuerung hinterlegt. Dies führte auch zu einem starken Anstieg der dafür notwendigen Prüfstandarbeit und damit der Anzahl an Prüfständen. Einige der Messaufgaben konnten nur noch mit aufwendigen automatisierten Versuchen durchgeführt werden. Damit verbunden stieg die Komplexität der Motoren- und Antriebsprüfstände – speziell bei Automatisierungssystem und Messtechnik. Damals konnte man schon mal den Eindruck bekommen, man stehe vor einem „Testing-Peak“.

Durch die Hybridisierung bzw. Elektrifizierung der Antriebe um 2010 wurde dieser „Peak“ noch übertroffen (Abb.1). In deutlich kürzerer Zeit nahm durch weitere Steuergeräte deren Funktionen (z.B. Betriebsstrategie und Momentenkoordination) der Versuchsumfang im Prüffeld deutlich zu. Auch die Abbildung von Fahrzeugeigenschaften am Prüfstand durch Fahrzeug-, Fahrer- und Steuergerätesimulation wurde ein Schwerpunktthema in der Prüffeldweiterentwicklung. So wurde beispielsweise im Zuge der neuen Funktionen bei den Fahrzeug-Datenbussen im Antrieb, an jedem Prüfstand eine mehr oder weniger komplexe Restbussimulation notwendiger Bestandteil der Prüfstandsysteme.

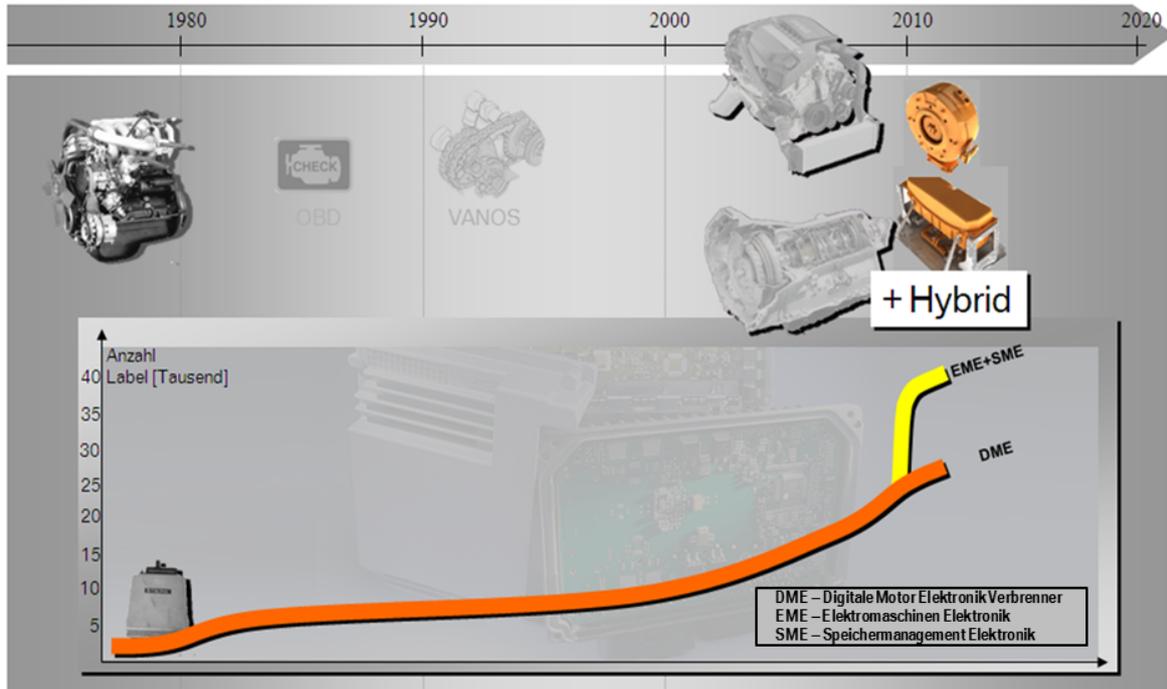


Abbildung 1: Steigerung der Steuergeräte Komplexität

2.2 Veränderte Rahmenbedingungen und Motivation

Während somit in den letzten 20 Jahren durch die Vernetzung im Antrieb (u.a. durch die zunehmende Elektrifizierung und die Zunahme der Fahrzeugvarianten) die Beherrschung der Funktionskomplexität beim Fahrzeug im Vordergrund stand, wird in Zukunft die Geschwindigkeit in der Veränderung der Rahmenbedingungen (Gesetzgebung, Kunde, Markt) zunehmen. Die Treiber dafür sind aktuell die Existenz unterschiedlicher, teilweise konkurrierender Technologien und Themen wie WLTP, RDE und „autonomes“ Fahren.

Derartige Veränderungen werden einen Innovationshub und einen starken Umbruch im gesamten Versuchsbetrieb in allen Themenbereichen zur Folge haben. Somit wird es nicht mehr möglich sein, die Themen in einzelnen Projekten mit einem lokalen Ergebnis zu bearbeiten. Es wird wichtig, entwickelte Lösungen allen Anwendern mit gleichartigen Aufgaben „prozesssicher“ zur Verfügung zu stellen. Ein Baukastenansatz wird auch für den Versuchsbetrieb notwendig sein, um vorhandene und neue Lösungen mit geringem Aufwand für unterschiedliche Anwendungsfälle anzupassen, um für jeden Anwendungsfall eine passende Lösung zu erstellen. Auch die Infrastruktur im Prüffeld muss flexibel auf neue Anforderungen reagieren können. Dass eine Anpassung nur durch Strukturmaßnahmen im Rahmen von Großprojekten nicht die einzige Antwort auf an Schnelligkeit zunehmenden Anforderungen sein kann, liegt auf der Hand. Daher wird es

für anstehende strukturelle Veränderungen eine Herausforderung, trotz wechselnder Anforderungen im Mengengerüst der Technologien und Rahmenbedingungen, ein zukunftssicheres Prüffeld zu betreiben und zu modernisieren.

3 Schwerpunkte der Prüffeldentwicklung der nächsten 10 Jahre

Aus heutiger Sicht wird die Schnelligkeit bei der Adaption der Prüffeldleistungen hinsichtlich der Prüfeinrichtungen und der dafür notwendigen IT-Systeme so zunehmen, dass klassische Umbau- und Modernisierungszyklen bei Prüfeinrichtungen zu langsam sein werden. Es wird notwendig sein, neben spezifisch auf einige Anwendungsfälle optimierte Prüfeinrichtung, eine gewisse Anzahl an hoch flexiblen Prüfständen zu haben. Damit können auch kurzfristige Änderungen z.B. bei Rollenkapazitäten versus Antriebsprüfständen oder Prüfständen der Elektromobilität ausgeglichen werden. Für diese Flexibilität wird auch die Durchgängigkeit zwischen den Systemen beim Hardwareversuch und der Simulations- bzw. Berechnungssysteme deutlich zunehmen müssen. Nur so wird eine weitere Verlagerung vom Fahrzeugversuch ins Prüffeld – weiteres Front Loading – möglich sein. Zukünftige Modernisierungsprojekte werden nicht mehr nur singular das Prüffeld betreffen. Entwicklungsablauf, Entwicklungsmethodik, Zusammenarbeitsmodelle und Flexibilität im Prüffeld lassen sich nicht mehr unabhängig voneinander behandeln.

3.1 Entwicklungsmethoden und Zusammenarbeitsmodelle für das Prüffeld der Zukunft

Der Methodeneinsatz hat sich in den letzten Jahren etabliert, DoE (Design of Experiments) oder online Optimierungsverfahren sind für die Applikation von Steuergerätfunktionen mittlerweile Standard geworden [3]. Spannender wird es nun in der Betrachtung von hoch vernetzten Domänen mit übergreifenden Funktionen wie z.B. die Betriebsstrategie in den Hybridfahrzeugen oder von noch komplexeren Funktionen aus dem Bereich ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) und dem hochautomatisierten Fahren.

Diese komplexen Funktionen / Systeme können nur noch im Gesamtsystemkontext entwickelt und validiert werden. Dabei werden die Prüflinge nicht nur aus realen Komponenten sondern aus einer Mischung aus Modellen, Rapid-Prototyping Modulen und realen Komponenten bestehen.

Wo früher Modellentwickler, Soft- / Hardwareentwicklern und die Systemintegratoren unabhängig voneinander ihre Ergebnisse validiert haben wird es heute unabdingbar, in Form von neuen Arbeitsweisen, diese Schritte zu verschmelzen und in einer durchgän-

gigen vernetzten Entwicklung zu einem finalen Produkt zu bringen. Co-Simulationen werden in den Entwicklungsschritten mehr an Bedeutung gewinnen. Diese Ansätze sorgen dafür, dass sehr früh im Entwicklungsprozess aus Gesamtsystemkontext die Absicherungs- und Prüfprozeduren erstellt und verwendet werden und die Simulationen bis in die Endphase im Entwicklungsprozess Einzug erhalten werden.

Der Implementierung einer Verifikationsstrategie kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Dabei führt die Planung und Ergebnissrückführung zu einer phasenoptimalen und situationgerechten Virtualisierung, gepaart mit effizienter Hardware Verifikation. Diese basiert dabei immer auf der gleichen Fragestellung: a) Welches Ergebnis wird zur Darstellung einer bestimmten Reifestufe benötigt? b) Mit welchen Mitteln kann dieses Ergebnis erreicht werden? Abhängig von a) und b) erfolgt die Wahl des Absicherungspfades (Abb.2).

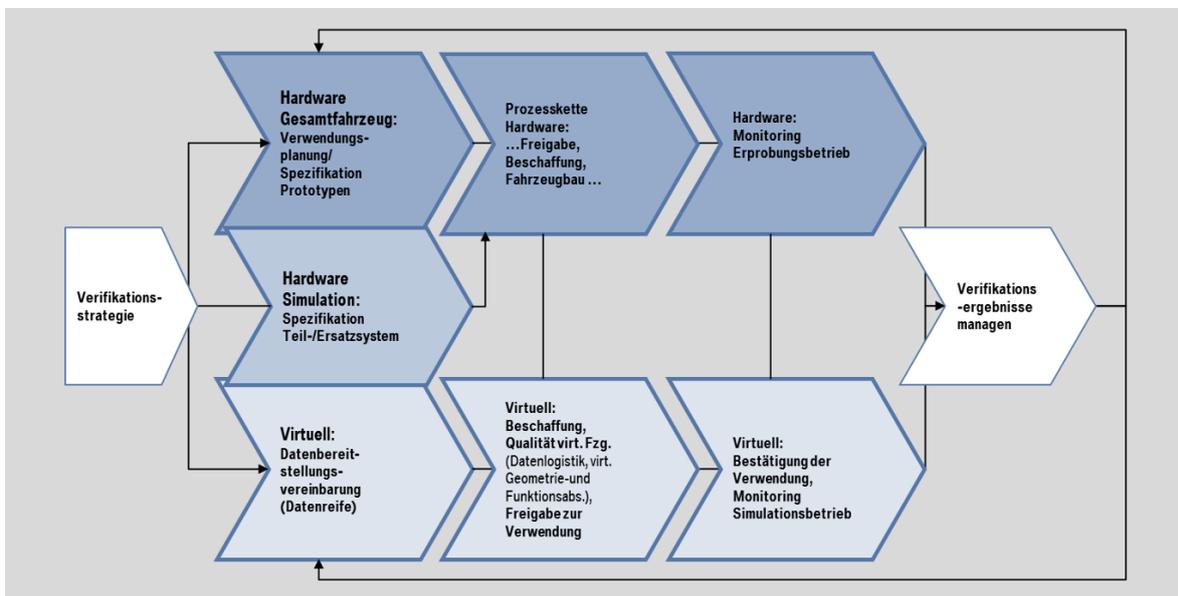


Abbildung 2: Handlungsstränge der Verifikation

3.2 Praxisbeispiele

Im Nachfolgenden werden Beispiele aus der Praxis vorgestellt, die diese Verifikationsstrategie verfolgen und Optimierungserfolge in den einzelnen Pfaden und in der Anwendung der Pfade in Kombination miteinander zeigen.

3.2.1 Beispiel 1: Standardversuche – der Schlüssel für einen innovativen Versuchsbetrieb im Antriebsprüffeld

In einem Antriebsprüffeld ist ein innovativer Versuchsbetrieb das Produkt, welches maßgeblich von der Entwicklung der Mess- und Prüftechnik und den dazu gehörigen Verfahren und Methoden abhängig ist. Auch hier gibt es Vorentwicklung und Serie, Rahmenbedingungen vom Unternehmen, Entwicklungsabteilungen und unterschiedliche Technologien der Antriebe. Daher ist es nur konsequent auch die Prozesse der Produktentwicklung für die Methodenentwicklung zu übernehmen. Das Konzept der „Standardversuche“ stellt den Übertrag des Baukastenansatzes im Fahrzeug bzw. Antrieb auf den Versuchsbetrieb im Antriebsprüffeld dar. Die Strategie der Verwendung von Standardversuchen soll die Prüfstände effizienter auslasten. Sie beinhaltet bewusst auch die anscheinend weniger aufwändigen Versuche. Es sollen neben Fehlmessungen und Abschaltungen auch Inbetriebnahmen reduziert werden. Zudem werden Ressourcen für Abstimmung und Entwicklung von Versuchsmethodiker und Applikateur / Entwickler mit einfachen wiederkehrenden Aufgaben nicht mehr beansprucht. So entsteht Kapazität und Freiraum für neue innovative Methodenentwicklung. Standardversuche werden zudem auf diese Weise immer vom aktuellen Stand der Technik weiterentwickelt und das Wissen und die Erfahrung aller Beteiligten fließt mit ein. Der Ansatz basiert auf folgenden Grundsätzen: *Abgestimmter Versuch* (Applikatoren / Motorentwickler einigen sich auf eine Best Practice Lösung für eine Aufgabenstellung), Definierter Ablauf Entwicklung und Test, Dokumentation und Trennung Versuchsablauf (fest) und Versuchsparametrierung (variabel) (Abb. 3).

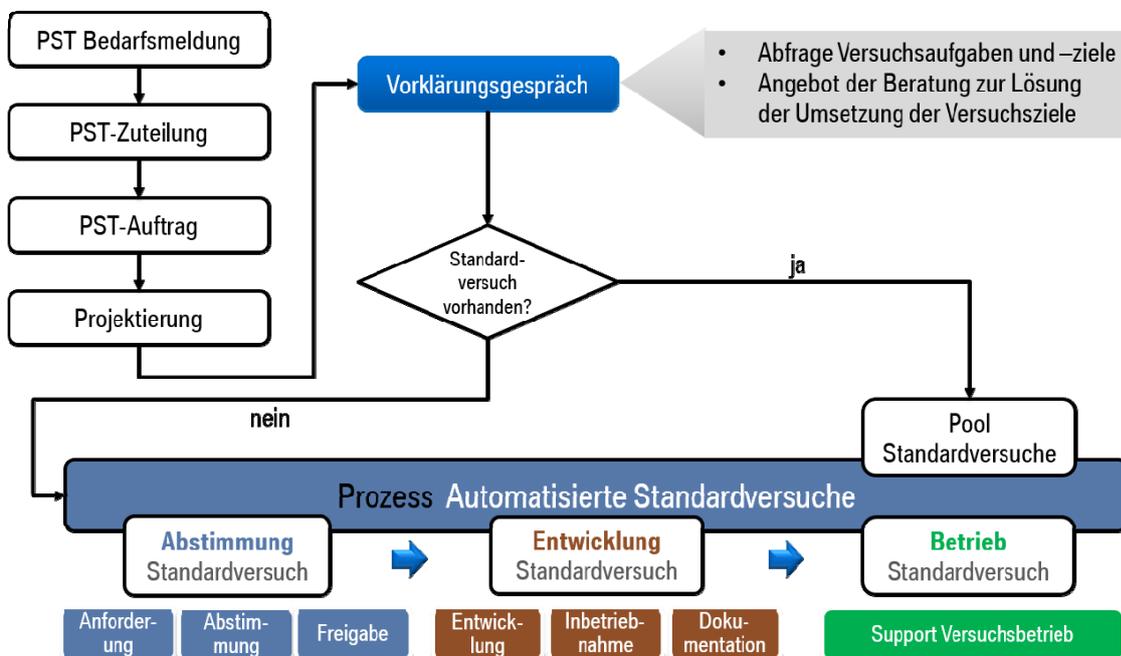


Abbildung 3: Prozessablauf Standardversuch

Am Beispiel der Entwicklungsaufgaben an Motorenprüfständen kann gezeigt werden, welche deutliche Effizienzsteigerung damit erreicht wurde. Über einen Zeitraum von 3 Jahren konnte u.a. die Laufzeit automatisierte Versuche verdoppelt werden. Versuchsabbrüche wurden um 28% reduziert und es konnten 20% mehr Themen in einem automatisierten Prüfstandlauf überführt werden. Auch teilen sich um den Faktor 4 mehr Anwender einen Standardversuch. Diese Mehrfachverwendung steigert deutlich die Robustheit und Qualität der Versuche. Wie in jedem Change-Prozess waren auch hier ein gutes Konzept, eine intensive Initialphase und ein „Durchhalten“ der neuen Abläufe im „Alltag“ die Erfolgsfaktoren. Diese vollständige und abgestimmte Versuchslandschaft ermöglicht es, schnell auf neue Anforderungen aus dem Projekten mit einer flächendeckenden Adaption der Versuche zu reagieren. Auch wird es deutlich leichter, neue Funktionalitäten (z.B. im Optimierungssystem) oder neue Methodenansätze zielgerichtet auch bei etablierten Versuchen einzuführen. Für die einzelnen Entwickler reduziert sich der Aufwand für die Gestaltung der Versuchsabläufe bei einem stabileren Versuchsbetrieb. Dadurch entsteht ein transparenter „Leistungskatalog“ für das Prüffeld. Dieser Ansatz ist weder auf automatisierte Versuche noch den Motorprüfstand beschränkt. Gerade bei den anstehenden Herausforderungen durch elektrifizierte Antriebe, Umsetzung der Gesetzesanforderungen RDE, WLTP, hochautomatisierten Assistenzsysteme und den damit einhergehenden Veränderungen bei den Prüfeinrichtungen und Versuchsabläufen wird das Konzept Standardversuch einen maßgeblichen Beitrag für die Innovationsfähigkeit im Prüffeld leisten [1].

3.2.2 Beispiel 2: Simulation und Versuch in der Hand eines Entwicklers am Beispiel Kanal-Entwicklung Verbrennungsmotor bei BMW

In der Vergangenheit waren die Disziplinen Berechnung und Simulation als getrennte Fraktionen in der Entwicklung präsent. Über das vergangene Jahrzehnt sind die beiden Disziplinen zuerst enger zusammengerückt, um schließlich als zwei Werkzeuge in die Hand eines Entwicklers zu gelangen. So bedient sich heute eine Person sowohl der Ergebnisse der Strömungsprüfstände als auch der Simulationstools zur Kanalentwicklung, um den Spagat zwischen Durchfluss und Ladungsbewegung motorspezifisch zu optimieren. Der iterative Prozess zur Validierung der prädiktiven Fähigkeiten einerseits und Zielerreichung andererseits erfolgt bereits im Prototypenstadium an den Strömungsprüfständen und findet dann über den gesamten Entwicklungsprozess bis in die Serie hinein statt. Das Vorgehen aus einer Hand führt infolgedessen zu einem interdisziplinären Vorgehen mit signifikanten Vorteilen in Bezug auf Geschwindigkeit, Methodik-Entwicklung und Interpretationsgüte der strömungsmechanischen Phänomene (Abb.4).

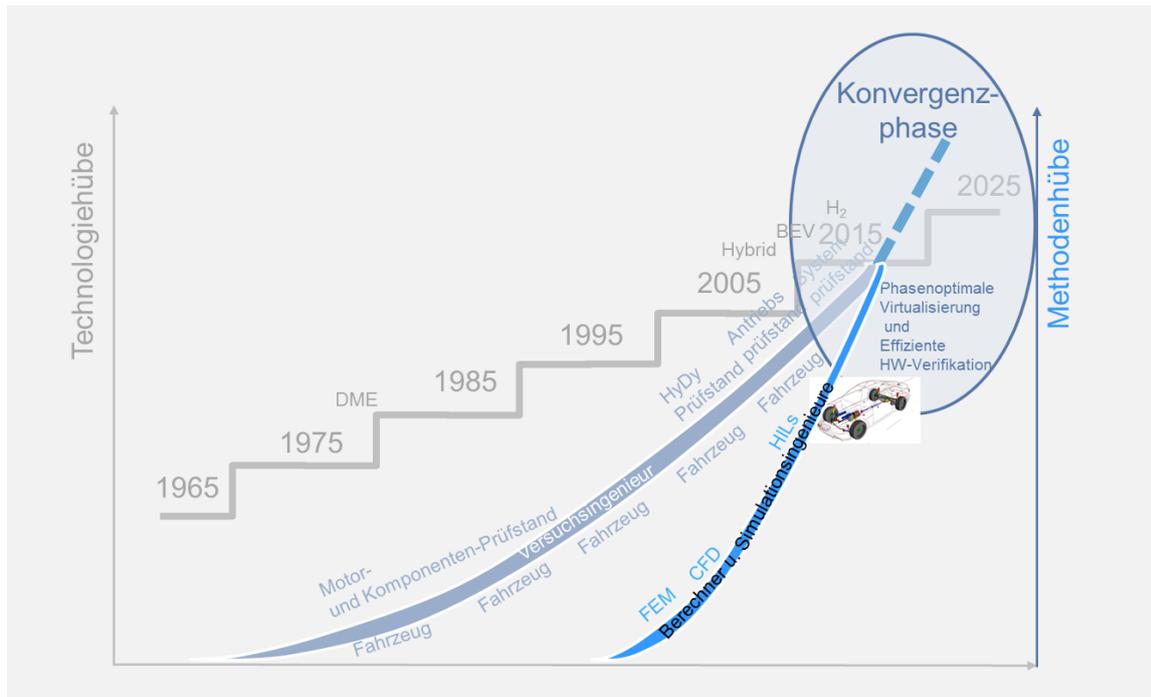


Abbildung 4: Das Berufsbild des Entwicklers entsteht

3.2.3 Beispiel 3: BMW Power eDrive / Vernetzung und durchgängige Simulation am Systemprüfstand

Der BMW Power eDrive als Demonstrator ist eine mögliche Antwort auf die gesellschaftlichen und politischen Anforderungen weltweit. Diese fordern uns auf, in den nächsten Jahren technologische Maßnahmen zur Reduzierung von Schadstoffemissionen einzuleiten und gleichzeitig eine individuelle Mobilität bereit zu stellen.

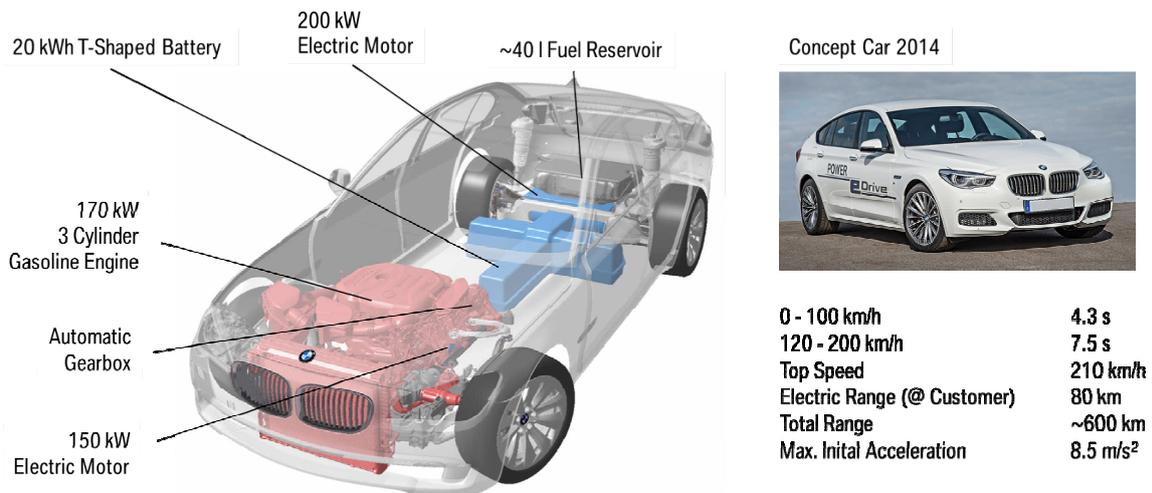


Abbildung 5: BMW Power eDrive

Der BMW Power eDrive wurde entwickelt um Elemente wie Begehrlichkeit, Alltags-tauglichkeit mit hervorragenden elektrischen Fahreigenschaften hervorzuheben [2]. Konzeptionell handelt es sich um einen Systemansatz, der die Vorteile von BEV, PHEV und konventionellen Fahrzeugen in einem Fahrzeug vereint und damit hinsichtlich Fahrdynamik, Fahrspaß und Reichweite hohe Überlegenheit bietet. Mit einem Terminplan von weniger als einem Jahr sollte der BMW Power eDrive als achshybride Architektur mit elektrischem Allrad dargestellt werden. Bei dieser Entwicklung mussten andere Wege eingeschlagen werden als bisher gewohnt.

Eine Kombination aus neuer Arbeitsweise „Hochvernetzung zwischen den Entwicklungsmannschaften (Architekt, Soft- / HW-Entwickler, Absicherer)“ und der Anwendung von modernen Prüfeinrichtungen mit hohem Simulationsanteil und durchgängigen Modellierungswerkzeugen, waren der Schlüssel zum Erfolg. In der Projektbearbeitung haben sich drei parallelisierbare Hauptstränge herauskristallisiert:

- der Fahrzeugaufbau mit dem mechanischen Aufbau und der E/E- (Elektrik- / Elektronik-) Inbetriebnahme im Fahrzeug
- die Verbrennungsmotor-Applikation am Motorprüfstand – der je nach Aufgabe mit einem sehr hohen Anteil an Fahrzeug-, Umfeld-, Fahrer-Simulation betrieben wurde
- die Systemintegration der verteilten Antriebsfunktionen und der Applikation der Betriebsstrategie am Systemprüfstand – einem hochdynamischer Antriebstrang-Prüfstand mit allen realen HV- (Hochvolt) Komponenten und Steuergeräte-HILs. Verbrennungsmotor, Fahrzeug-, Umwelt- und Fahrer wurden simuliert.

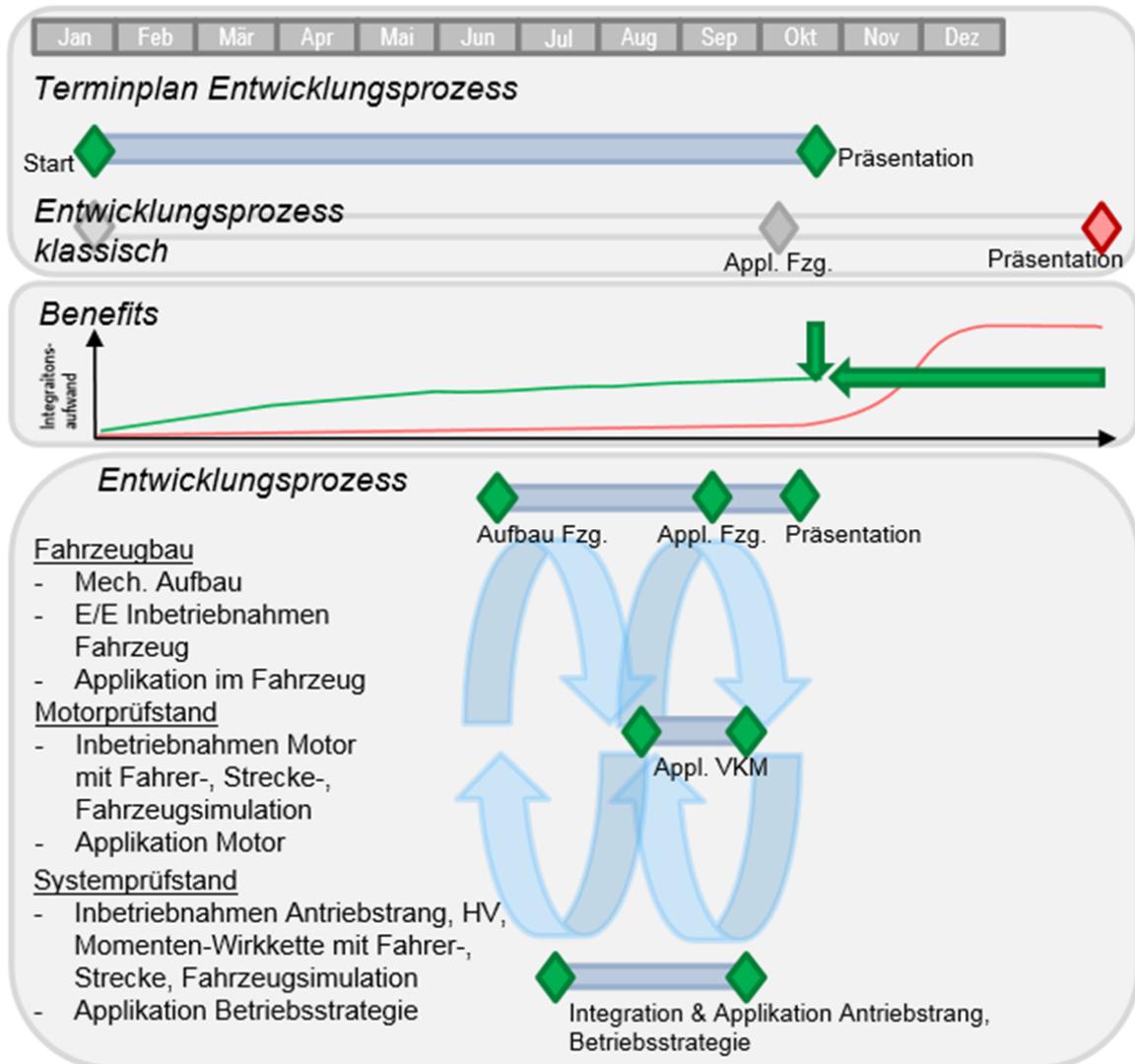


Abbildung 6: Entwicklungsprozess BMW Power eDrive mit Benefits

In einem klassischen Demonstrator-Projekt werden alle Entwicklungsschritte sequenziell abgearbeitet und die Integrations-/Applikationsaufgaben direkt im Fahrzeug durchgeführt. Durch den Projektablauf beim BMW Power eDrive wurde die Fertigstellung verkürzt und gleichzeitig eine deutlich höhere Produktreife erreicht. Somit konnte eine deutliche Reduktion des Aufwands im letzten Integrationsschritt erzielt werden.

Durch die hybriden Prüfeinrichtungen (Betrieb von realen und simulierten Komponenten/Systemen in einer Umfeld-Simulation) in Kombination mit der simultanen hochvernetzten Arbeitsweise konnte für dieses Thema ein weiteres Frontloading erzielt werden. Damit wird ein wesentlicher Beitrag für die Beherrschung der Fahrzeugentwicklung im Kontext zukünftiger Herausforderungen geliefert.

4 Das Prüffeld der Zukunft

Natürlich werden die spezifischen Prüfstände nicht verschwinden, aber deren Bedarf wird sich stabilisieren und zu diesen werden die hochflexiblen Prüfeinrichtungen mehr an Bedeutung gewinnen.

Die Digitalisierung und die Schnelligkeit bedingen auch in der Prüftechnik eine weiter steigende Innovationsintensität in neue Technologien und in deren Anwendung. Die Datenflut, die dabei erzeugt wird, kann nur noch rechnergestützt automatisiert ausgewertet werden. Es entstehen neue Prozesse und Arbeitsweisen mit hohem Vernetzungsgrad in der Entwicklung und Erprobung.

Der rasante Anstieg an digitalen Modelleinsätzen und digitalem Ergebnisrückfluss bedingt natürlich auch eine geeignete IT-Infrastruktur, die es ermöglicht den Entwicklungsteams die geeigneten Informationen (Data-Model-Backbone) als aktuelle Stände bereit zu stellen.

Die logische Konsequenz aus diesem Gedankengang bedingt auch eine Umgestaltung der Prüftechnik. Weg von den für einige wenige Aufgaben spezifisch errichteten Prüfständen zu hoch flexiblen frei konfigurierbaren Prüfeinrichtungen, bestehend aus wenigen modularen „Baukastenelementen“ die über eine adäquate „standardisierte“ Kopplungsschnittstelle aufgabenbezogen zusammenschaltet werden können. Diese Schnittstelle existiert heute noch nicht, jedoch gibt es hier bereits Entwicklungsaktivitäten (Förderprojekte vom Bund und der EU) eine solche Schnittstelle zu definieren und zu standardisieren.

Dabei besteht der Anspruch, die Architektur der Prüfstände zukunftscompatibel und beherrschbar zu gestalten bis zum Zielbild „bedienbar wie ein Smart Phone“. Eine automatische Rückführung von Testergebnissen mit selbständiger Erkennung von verdeckten Fehlern, schwachen Systemzuständen und Generierung von neuen Testfällen ergeben zusätzlichen Anspruch an die Funktionalität des zukünftigen Prüffeldes. Führt man den Gedanken noch weiter, und unterstellt, dass echtzeitfähige Verbindungen verfügbar werden, wäre über eine „standardisierte“ Kopplungsschnittstelle für bestimmte Anwendungen sogar ein Zusammenschalten von ortsfremden Prüfständen (z.B. HIL System beim Lieferanten 1, mit Komponenten-Prüfstand beim Lieferanten 2 und den Antriebstrang-Prüfstand beim OEM) über eine „Prüftechnik-Daten-Cloud“ denkbar.

5 Zusammenfassung

Gehen wir am Schluss noch einmal auf die einleitende Frage zurück, ob wir in Zukunft überhaupt noch ein Prüffeld für Versuche benötigen werden. Dazu ist festzustellen, dass auch in der Zukunft der Versuch immer die Fragen beantwortet, die nicht gestellt wurden und für die Modellierung einer virtuellen Simulation zunächst Versuchsergebnisse notwendig sind, insbesondere dann, wenn es kein Vorgängerobjekt gibt. Wir sind überzeugt, dass man auf absehbare Zeit nicht ohne Hardware Test auskommen kann. Die BMW Group stellt sich technologisch bewusst breit auf. Das wird auch in Prüffeld und Simulation sichtbar. Eine hohe Flexibilität der Prüfeinrichtungen, das Verschmelzen von Test und Simulation, die Parallelisierung von Entwicklungsschritten, agile Zusammenarbeitsmodelle der Entwickler aus Applikation und Absicherung und die Nutzung des Prüffeldes als Integrations- und Entwicklungszentrale stellen Maßnahmen dar, die anstehenden Herausforderungen zu bewältigen.

Wie man sieht, ist die Verzahnung von Test und Simulation in allen Phasen des Entwicklungsprozesses nutzbringend. Die Frage nach dem jeweiligen optimalen Betriebspunkt für Simulation und Test im Entwicklungsablauf wird gerne mit der Verfügbarkeit von HW beantwortet. Im Sinne von reproduzierbarer Analysefähigkeit und als Stellhebel zur Reduzierung von Prototypenkosten möchte man aber auch bei existierender Hardware die Simulation nicht vermissen.

Literaturverzeichnis

- [1] Rückert, J., Hillers, C., Konrad, H.: Standardversuche – der Schlüssel für einen innovativen Versuchsbetrieb im Antriebsprüffeld. 6. Internationales Symposium für Entwicklungsmethodik, 2015, Wiesbaden.
- [2] Fröhlich K.: BMW Power eDrive – Fahrfreude von morgen, 36. Internationales Wiener Motorensymposium 2015
- [3] Rabenstein, F., Jägerbauer, E., Reisenweber, K.-U., Kirnberger, H.: Effiziente Antriebsentwicklung. Herausforderungen und Lösungsansätze für das Prüffeld der Zukunft. 7. Internationale MTZ-Konferenz Virtual Powertrain Creation, 2006



GDI Engine – Design by Thermal Assessment

Andrej Poredos, Senior Analysis Engineer, AVL- AST d.o.o Slovenia, Kneza Koclja 11, Maribor Slovenia, +386 40 454 732, andrej.poredos@avl.com

Cristiano Pecollo, Team Leader CAE52, FCA - Fiat Chrysler Automotive, EMEA Region – Powertrain Engineering, Virtual Analysis, Corso Settembrini 40, Torino Italy, cristiano.pecollo@fcagroup.com

Peter Tibaut, Skill Team Leader, AVL- AST d.o.o Slovenia, Kneza Koclja 11, Maribor Slovenia, +386 40 454 731, peter.tibaut@avl.com

Simon Urbas, Analysis Engineer, AVL- AST d.o.o Slovenia, Kneza Koclja 11, Maribor Slovenia, simon.urbas@avl.com

Abstract

As the loading capabilities of modern IC engines are increasing, more heat is being produced per engine volume unit. Consequentially the thermal and mechanical load of the material also increases rapidly. From the heat transfer perspective, it is of interest to reduce the heat losses in the engine in an attempt to achieve higher mechanical efficiency. One of the most important fields related to this objective is reliable, comprehensive and complete engine thermal analysis.

CFD simulation is already an established approach in engine development, especially in the component design phase. Combustion modeling has an important role in predicting the conversion from chemical to mechanical and thermal energy. On the thermal analysis side, finite element methods are conventionally used for the thermal analysis of the solid structure and stress analysis. On the CFD side also a coolant flow analysis has to be considered to contribute to the structure thermal conditions. Each of the analysis is conventionally done by separate software packages. By online coupling of both, the best engine structure temperature prediction can be expected. The present study uses a novel approach of using multi-material heat transfer analysis for the prediction of temperature distribution in the solid structure of a passenger car four cylinder GDI engine. This is an alternative method to the conventional fluid-solid (CFD-FEA) coupling method. This approach represents the simulation of the heat transfer within the GDI engine structure and its parts by considering the solid and fluid parts of the engine as a multi-domain. Heat exchange is determined by considering the complete engine cycle on the gas side. This includes induction, compression and expansion stroke. With this method the three domains approach is reduced to only two CFD domains where the finite element (FEA) tool is no longer required. The CFD tool AVL FIRE is used instead and the simulation workflow is significantly simplified. Better temperature prediction is achieved due to heat data exchange in every iteration step of the simulation instead of only between CFD-FEA coupling loops. A nucleate boiling effect on the water side as well as the contact resistance effect in the solid part are considered. At the end the simulation results are successfully validated against measured thermos-couples temperatures.

1 Introduction

The present study uses a novel approach of using multi-material heat transfer analysis workflow which computes the conduction of heat through solids, coupled with convective heat transfer in fluid for the prediction of temperature distribution in the solid structure of four-cylinder GDI engine. The approach includes heat transfer between continuous and discrete phase considering different material properties.

This is an alternative method to the conventional fluid-solid (CFD-FE) coupling, which is usually used for temperature distribution in solid structure and stress analysis. The multi-material approach represents the simulation of the heat transfer within the cylinder head structure and its parts by considering the solid and fluid parts of the engine as a multi-domain. Heat exchange is determined depending on the engine operating conditions by considering the complete engine cycle on the gas side. This includes intake, compression and the expansion stroke. With this method the three simulations approach is reduced to only two simulations where the finite element (FE) tool is no longer required. The CFD tool is used instead and the simulation workflow is significantly simplified. A nucleate boiling effect on the water side as well as the contact resistance effect in solid part are considered. The simulation workflow is shown for an AVL single cylinder research engine where as a reference the conventional CFD-FE coupling method is used beside measurements. The same approach is then applied on the real four cylinder GDI engine.

2 Transient Engine Simulation – Heat Transfer

It has commonly been stated that the energy from the fuel is divided approximately equally into three main parts, energy converted into useful mechanical work, energy transferred to the coolant and energy transferred to the exhaust. For this reason, it is of great importance to have control over the heat losses in the system when designing an internal combustion engine. An increased knowledge on temperature distribution and heat losses inside and around the engine cylinder is therefore very important. A common way of predicting heat transfer in the cylinder head is fluid-solid coupling (CFD-FE coupling). Figure 1 shows the comparison between conventional CFD-FEA coupling and the CFD multi-material workflow.

In the case of a CFD-FEA coupling it is necessary to make two separate simulations of the fluid (cylinder inner flow simulation of the gas side and water cooling jacket of the coolant flow). The results of both (near wall fluid temperature and heat transfer coefficient) are mapped to the structural side as a convective boundary condition. Data exchange goes only in one direction – from fluid to solid in one simulation set. To reach thermodynamically equilibrium between fluid and solid, sometimes more loops are needed – the complete set of simulations need to be repeated.

In the case of CFD – multi-material approach; the cylinder inner flow simulation still needs to be done separately, since the coolant flow simulation runs simultaneously with the structural thermal analysis. Thermal data exchange: fluid simulations provide convective boundary conditions – near wall fluid temperature and heat transfer coefficient to the structure – since the calculated wall temperature is provided back from the structural thermal analysis to the fluid simulation. Data exchange is ongoing every iteration step of steady state multi-material simulation.

The benefit of the multi-material approach is the reduced modelling effort as well as the reduction of the FE code required to make short-loop decisions based on temperature distribution in the cylinder head solid structure. Also the thermal data exchange is very important for every iteration step of the multi-material simulation and therefore more loops like in the case of the CFD-FEA approach is not needed.

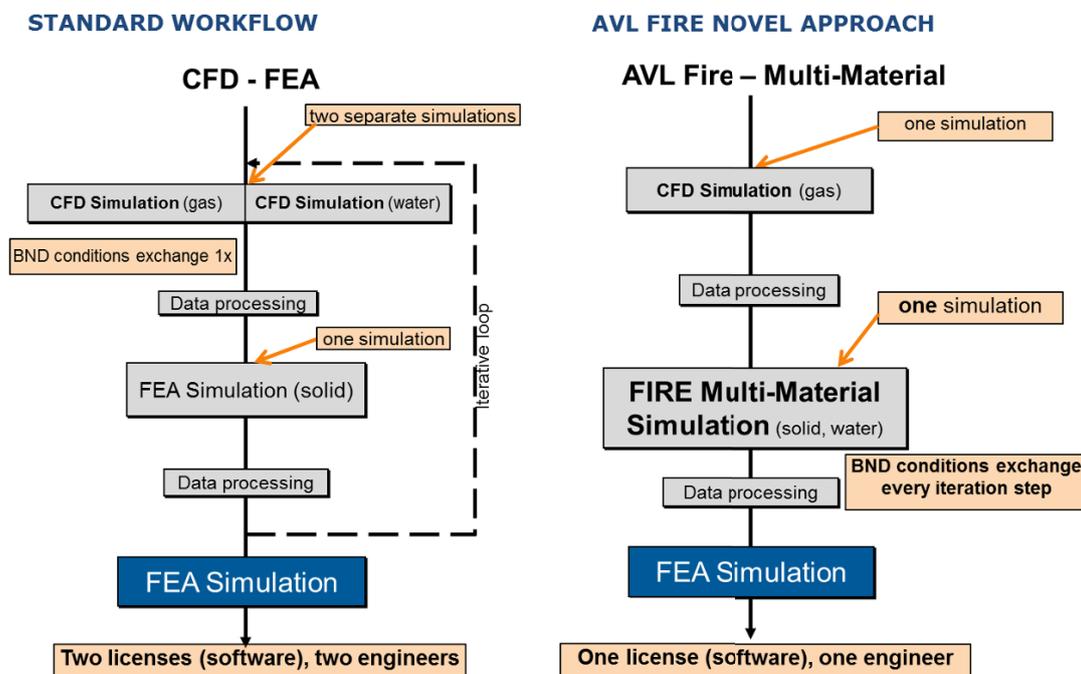


Figure 1: Standard CFD-FEA (left) and CFD multi-material (right) coupling approach flow chart

3 Test Engine Research

The subject of investigation is an AVL single cylinder passenger car size research engine [2] with specifications shown in Table 1. Since the engine has limited rated power (range 2000–4000 rpm), the operating point at lower rpm is the maximum engine torque (2000 rpm) which considers also more intensive nucleate boiling phenomena on the coolant side.

For method validation only the cylinder head was considered as this is, besides the piston, the most thermally exposed structural part. The whole cycle cylinder inner flow simulation has been performed (intake stroke, fuel injection, atomization, evaporation, compression, ignition, combustion and exhaust stroke) in order to estimate boundary conditions for the structural part. The considered simulation models are ECFM-3Z combustion model [3] [5], auto-ignition knock Shell model [4] [13] and k-z-f turbulence model [6].

Table 1. Single cylinder GDI engine specification

Displaced volume	533 cc
Stroke	94 mm
Bore	85 mm
Connecting Rod	160 mm
Compression ratio	16:1
Number of Valves	4
Operating Speed	2000 RPM
Engine Load	Maximal Torque

For the multi-material approach, a water cooling jacket and a solid structure of cylinder head have been discretized as one multi-domain by means of finite volumes [9]. A single phase nucleate boiling model on the water side was used in order to predict heat transfer more accurately [14]. The final mesh consists of 3.5 mio elements. Two different materials (cast iron and aluminium alloy) and several domains were used. To compare solid temperature at monitoring locations (where thermocouple measurements are available), a standard finite element (FE) mesh has been generated. For both approaches the same result of transient gas side cylinder flow simulation has been used (e.g. mapped to the solid face). Local heat transfer coefficients (HTC) and local temperature distribution averaged for one engine cycle have been mapped to the multi-material CFD mesh as well as on the FE mesh. After mapping was done, a multi-material steady state FIRE simulation has been performed to obtain the comprehensive solution in the water cooling jacket and solid domain (temperature field only). For the CFD-FE (conventional) coupling case the FE analysis has been performed.

For both, multi-material and CFD-FE coupling a single phase boiling effect was considered. Results for both simulation approaches have been compared for specific regions where higher thermal load is expected. These regions are exhaust and intake port bridges. The temperature distribution is shown on Figure 2. Especially at exhaust port bridge highest thermal load appears due to high temperature of the exhaust gases and limited possibilities for local cooling. Similar wall temperature fields along the intake and exhaust valves are obtained for both approaches.

Comparing temperature profiles along the both intake and exhaust valve bridges for both simulation approaches shows almost no differences (Figure 3.). The temperature of the fire deck is about 60°C higher at the exhaust valve bridge than at the intake valve bridge.

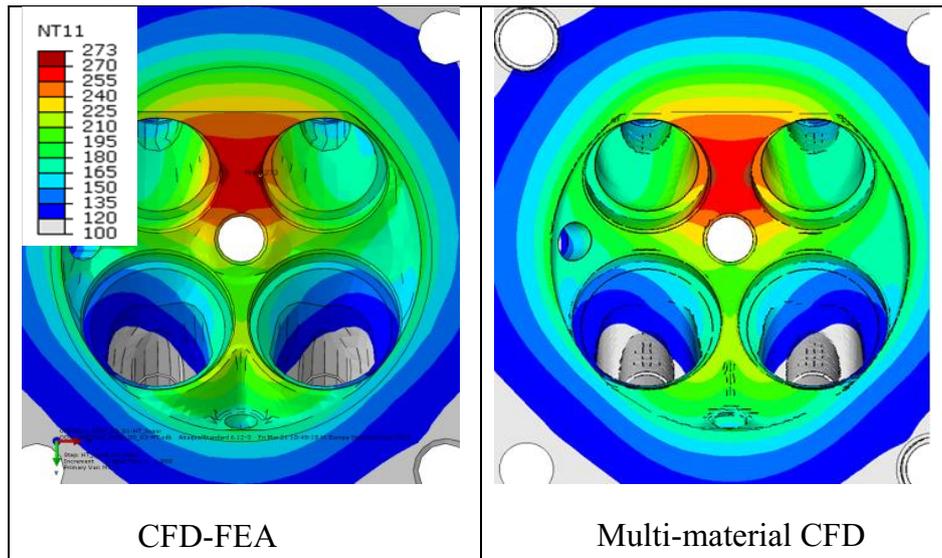


Figure 2: Temperature distribution at fire deck solid surface. Left is the conventional CFD-FEA coupling result and right is the multi-material CFD approach

The comparison with thermocouple measurements (Figure 3) shows very satisfying agreement in the range of 3°C for the intake valve bridge and 4°C for the exhaust valve bridge location. Both approaches predicted the temperature in the acceptable accuracy range.

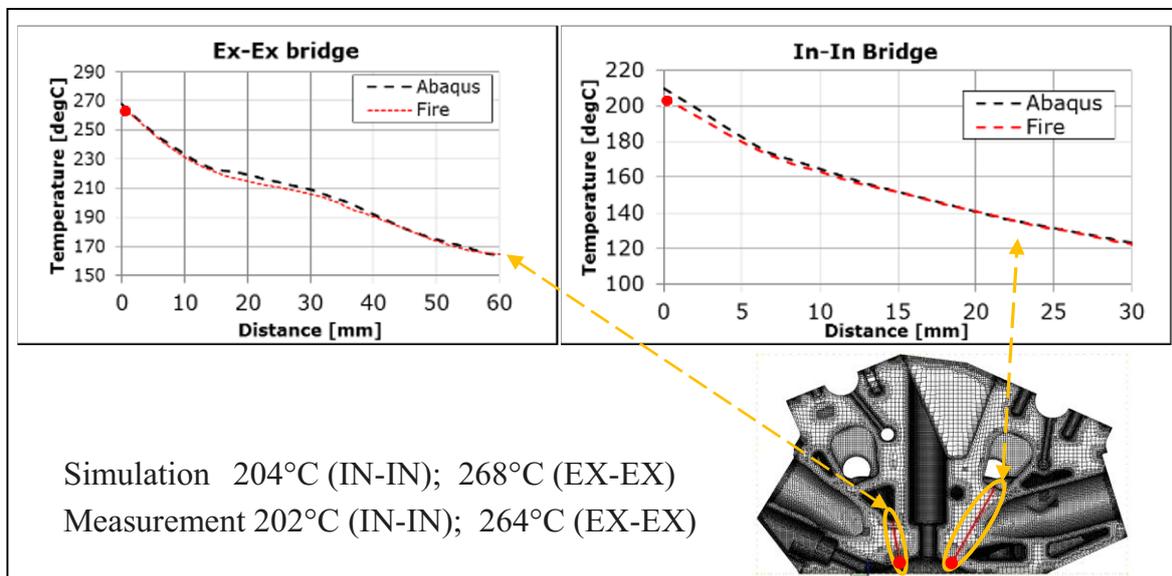


Figure 3: Temperature profiles for CFD-FEA and multi-material CFD approach at intake-intake (IN-IN) valve bridge and exhaust-exhaust (EX-EX) valve bridge