



FAHRZEUGANTRIEBE

DIE FKFS **0D/1D-SIMULATION**

Konzeptstudien, Dienstleistungen und Beratung

RESEARCH IN MOTION.

DIE FKFS **0D/1D-SIMULATION**



FAHRZEUGE BEWEGEN SICH ...

Ein Antriebsstrang wird in entscheidenden Situationen nicht bei konstanter Drehzahl oder Last betrieben. Reales Fahrverhalten, RDE-Messungen oder höherlastige Fahrzyklen zeichnen sich immer durch transiente Zustände, d.h. durch schnelle Änderungen von Drehzahl und Last, aus. Gleichzeitig wirken zahlreiche Regler der Antriebsstrangsteuerung über eine Vielzahl von Aktuatoren während dynamischer Fahrzustände auf den Verbrennungsmotor, die elektrische Maschinen und den übrigen Antriebsstrang ein.

Es muss Ziel der Motor- und Antriebsstrangentwicklung sein, sehr früh im Entwicklungsprozess den realen Transientbetrieb eines Motors bei Konzeptentscheidungen zu berücksichtigen. Wesentliche Wirkungsgradpotentiale und Risiken liegen vor allem im dynamischen Betrieb des komplexen Gesamtsystems »Antriebsstrang«.

Im Vergleich zu anderen Simulationsmethoden bietet die 0D/1D-Simulation hohe Vorhersagefähigkeit bei geringem



Rechenzeitbedarf. Hierdurch werden transiente Simulationen ebenso möglich wie umfangreiche Konzeptstudien. Diese Modellklasse ermöglicht die Simulation des komplexen Gesamtsystems von Antriebsstrang und Fahrzeug mit Auflösung notwendiger Detaileffekte. Mit diesen Eigenschaften stellt die 0D/ 1D-Simulation das sinnvollste Werkzeug zur Untersuchung von stationärem und insbesondere dem notwendigen transienten Systemverhalten dar.

MOTORENBAUKASTEN

Unser Motorenbaukasten stellt virtuelle Versuchsträger unterschiedlichster Hubvolumina dar, die mit verschiedenen Aufladestrategien, Brennverfahren und Technologiepaketen ausgerüstet werden können. Gerade für Zulieferer ist es interessant, das Potential von neuen Ideen virtuell an unterschiedlichen Versuchsträgern des Motorenbaukastens testen zu können.

DIE FKFS **0D/1D-SIMULATION**



ERFAHRUNG

Ein Modell liefert immer Ergebnisse. Diese werden aber nicht immer die Realität abbilden. Entscheidend für jede belastbare Simulation als echte Vorhersage ist ein tiefes Verständnis der Annahmen und Grenzen der genutzten Untermodelle.

Aufgrund unserer langjährigen Erfahrung können wir Fragestellungen zu fast allen Aspekten der 0D/1D-Simulation schnell, zuverlässig und kompetent beantworten. Wir führen Konzeptstudien durch, übernehmen Aufgaben aus dem Tagesgeschäft unserer Kunden oder stehen als Forschungspartner für wissenschaftliche Fragestellungen zur Verfügung.

Da der Grat zwischen belastbarer Vorhersage und spekulativer Simulation manchmal sehr schmal ist, streben wir einen offenen Austausch mit unseren Kunden und Partnern an, insbesondere zur Frage der Belastbarkeit der Simulationsergebnisse.

UNTERSTÜTZUNG

Wir sehen die 0D/1D-Simulation als unverzichtbares Werkzeug während der Entwicklung moderner Verbrennungsmotoren sowie hybridisierter oder elektrifizierter Antriebsstränge.



Ein klassisches Ziel der Motorenentwicklung stellt die Optimierung der Hauptbewertungskriterien des Motors dar:

- » Fahrleistung
- » Emissionen
- » Verbrauch

Mit Hilfe von vorhersagefähigen Simulationsmodellen lassen sich schon zu Beginn der Entwicklungsphase unterschiedliche Motor- und Antriebsstrangkonzzepte vergleichen. Somit sind bereits früh Informationen über die Hauptcharakteristika des Systemverhaltens verfügbar und ermöglicht ein Fokussieren der Entwicklungsarbeit auf besondere Problemstellungen.

GRENZEN ÜBERSCHREITEN ...

Oft werden im Entwicklungsprozess Luftpfad, Brennverfahren, Ölkreislauf und Kühlkreislauf separiert ausgelegt und optimiert. Im realen Motor stehen diese Teilsysteme jedoch in vielfältigen Wechselwirkungen. Der Verbrennungsmotor wird oft in einen elektrifizierten Antriebsstrang eingebunden sein. Das Ziel muss somit die Optimierung des Gesamtsystems sein. Die 0D/1D-Simulation stellt Werkzeuge zur Verfügung, mit denen die Wechselwirkungen der Teilsysteme im transienten Fahrbetrieb frühzeitig im Entwicklungsprozess abgebildet werden können.

DIE FKFS **0D/1D-SIMULATION**



ANALYSE

Bei der Modellkalibrierung ist es wichtig, die herangezogenen Messdaten einer Plausibilitätsprüfung zu unterziehen. Es ist fatal, ein Simulationsmodell auf falsche Messdaten abzustimmen. Checklisten helfen uns hier ebenso wie detaillierte Analysen der Messdaten. Das FKFS kann auf eine lange Erfahrung in der thermodynamischen Analyse (Druckverlaufsanalyse), der Ladungswechselanalyse und der Wärmebilanzmessung zurückgreifen, die wir gerne für unsere Kunden einsetzen.

VERTRAUEN

Die 0D/1D-Simulation ist ein Werkzeug um Vorhersagen durchführen zu können. Es ist uns wichtig, die Ergebnisse dieses Werkzeugs bezüglich der Wirkzusammenhänge zu verstehen und zu plausibilisieren. Denn nur so können wir Vertrauen in unsere Simulationsergebnisse schaffen und Modellgrenzen rechtzeitig erkennen.

EINSATZBEREICHE DER 0D/1D-SIMULATION

Der Einsatz der 0D/1D-Simulation ist in verschiedenen Phasen der Motor- und Antriebsstrangentwicklung sinnvoll.

Während der Konzeptphase:

- » beim Vergleich verschiedener Brennverfahren und Aufladekonzepte hinsichtlich Kraftstoffverbrauch und Transientverhalten
- » bei der Festlegung von Elektrifizierungsstrategien neuer Motoren
- » bei der Optimierung von Verdichtungsverhältnis und Nockenkonturen im Zielkonflikt zwischen Teillast- und Vollastverbrauch
- » bei der Auswahl und Anordnung von Komponenten zur Abgasnachbehandlung

Während der Konstruktion:

- » Bewertung der Ölversorgung von Lagerstellen
- » Vergleich unterschiedlicher Varianten der Luftführung und Abgasstrecke
- » Auslegung von Kühlkomponenten

In der Funktionsentwicklungs-, Applikations- und Testphase von Steuergeräten:

- » bei der Abschätzung von Lauf- oder Klopfgrenzen
- » bei der Optimierung von transienten Betriebszuständen am Rumpfmotor oder im elektrifizierten Antriebsstrang
- » bei der Bewertung von Heiz-, Warmlauf- und Regenerationsstrategien
- » beim Entwurf und der Bewertung von Betriebsstrategien von hybriden Antriebssträngen, durch die Möglichkeit zum Testen von Steuergerätefunktionen

DIE FKFS **0D/1D-SIMULATION**



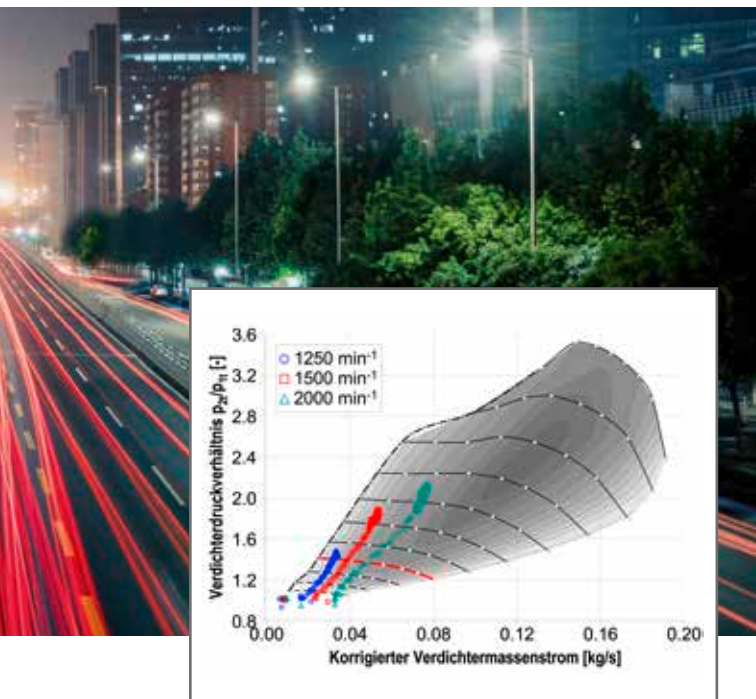
BEISPIEL: BESCHLEUNIGUNGSVORGANG MIT VERSTELLUNG DER STEUERZEITEN/VENTILHUBKURVEN

Betrachtet wird das Zusammenspiel der Untersysteme Verbrennung/Ladungswechsel und Ölkreislauf anhand eines Downsizing-Ottomotors:

Die optimalen Steuerzeiten/Ventilhubformen hinsichtlich Leistung und Verbrauch sind von Drehzahl und Last des Motors und somit veränderliche Größen während dynamischer Vorgänge abhängig. Die Beschleunigungsfähigkeit des Motors bei niedrigen Drehzahlen wird auch durch die Verstellgeschwindigkeit der Steuerzeiten mit Hilfe des hydraulischen Nockenwellen-Aktuators beeinflusst.

Auf Seiten des Ölkreislaufes führt eine Absenkung des Leistungsbedarfs der Ölpumpe (abgesenkter Öldruck) zur Kraftstoffersparnis.

Der Ladungswechsel und der Ölkreislauf lassen sich unabhängig voneinander optimieren. Eine wichtige Untersuchung ist die Kopplung der beiden Systeme im Transientverhalten.



Bewertung von Lastsprüngen im Verdichterkennfeld

So kann bei einer plötzlichen Beschleunigung aus der Teillast heraus die Verstellgeschwindigkeit der hydraulischen Systeme Phasensteller/Ventilhubumschaltung nicht ausreichend sein. Das Potential der optimierten Untersysteme kann in diesem Fall nicht voll ausgeschöpft werden. Hieraus kann sich dann eine inakzeptable Verschlechterung des Beschleunigungsverhaltens des Motors ergeben.

Die 0D/1D-Simulation ermöglicht eine transiente Betrachtung der beiden gekoppelten Systeme und kann hier schon im frühen Entwicklungsstadium mögliche Konflikte aufzeigen.

Ebenso lässt sich noch eine thermische Modellierung des Aufheizverhaltens integrieren, da der für die Aktuatoren zur Verfügung stehende Öldruck stark von der Temperatur abhängt.

DIE FKFS 0D/1D-SIMULATION



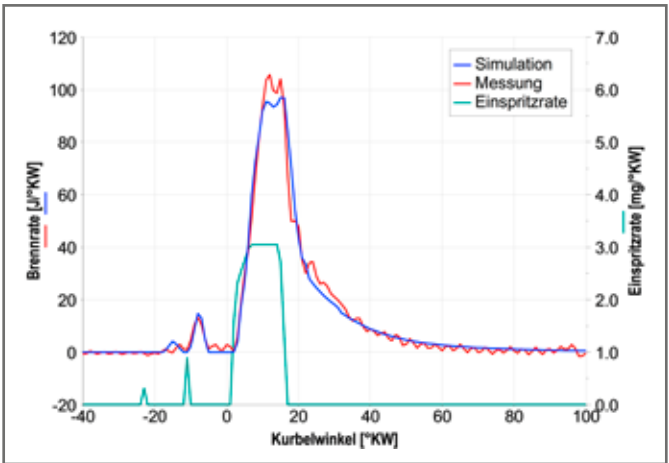
DER FKFS USERCYLINDER®: HÖCHSTE VORHERSAGEGÜTE IM BRENNRAUM

Der Brennraum ist das Herz des Verbrennungsmotors, hier erfolgt die Umsetzung der chemisch gebundenen Energie des Kraftstoffs in Wärme und Druck und damit in nutzbare Arbeit.

Der UserCylinder® ist ein Plug-in für die 1D-Strömungssimulations-Software GT-Power und ersetzt dort das reguläre Zylinderobjekt. Während einer GT-Power Simulation wird der gesamte Hochdruckteil im Zylinder (Kompressions- und Arbeitstakt) fortan über FKFS eigenen Code berechnet. Innerhalb eines Gesamtmotormodells ermöglicht dies detailliertere und schnellere Vorhersagen der Vorgänge im Brennraum. Als Beispiele der wichtigen Ergebnisgrößen aus dem Zylinder sind Brennverlauf, Kraftstoffverbrauch, Zylinderdruckverlauf, Emissionen und Klopfen zu nennen.

Durch die Nutzung des UserCylinder® können wir für unsere Kunden sicherere Prognosen erstellen, insbesondere wenn wenige oder keine Messdaten vorhanden sind.

Für Kunden, die in ihrer eigenen Simulationsarbeit mit GT-Power die Stärken des UserCylinder® nutzen möchten, bieten wir entsprechende Lizenzen mit umfangreicher Dokumentation, Schulung und Support an.



Hohe Modellgenauigkeit bei der Vorhersage des Verbrennungsablaufs mit dem UserCylinder®

Überblick:

- » Phänomenologisches Brennratenmodell für Otto- und Gasverbrennung
- » Klopf- und Zykelschwankungsmodell
- » Quasidimensionales Ladungsbewegungs- und Turbulenzmodell
- » Phänomenologisches Brennratenmodell für Dieserverbrennung
- » FKFS-Injektormodell
- » Phänomenologisches Stickoxid- und Rußmodell
- » Einfache Bedienung dank voller Integration in GT-Suite inklusive GT-Post
- » Möglichkeit zur automatisierten Modellabstimmung auf gemessene Zylinderdruckverläufe
- » Anleitung in Deutsch und Englisch
- » RapidCylinder® als mächtiges Tool für virtuelles RDE
- » FKFS bietet schnellen und fundierten Support zu allen Aspekten der Brennraumsimulation (support@usercylinder.de)

DIE FKFS **0D/1D-SIMULATION**



UNSERE MITARBEITER

Der Bereich 0D/1D-Simulation am FKFS zählt 18 Mitarbeiter, darunter Dr. Michael Grill als Leiter sowie drei erfahrene Projektleiter welche die Themenbereiche »Gasdynamik & Längsdynamik«, »Hydrodynamik & thermisches Verhalten« und »Brennraum« betreuen.

Unsere Mitarbeiter sind mit vielseitigen Aufgaben der Simulation und Motorenauslegung und -entwicklung vertraut. Eine ausführliche Dokumentation und Präsentation unserer Arbeit, sowie ein enger Austausch mit dem Kunden sind für uns selbstverständlich.

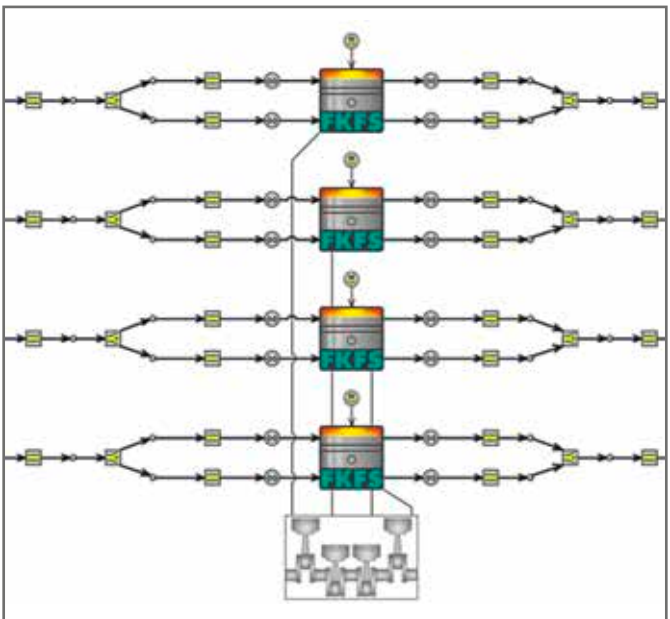
UNSERE FORSCHUNG

Brennverfahren, Motoren und Fahrzeugtechnologien entwickeln sich rasant weiter. Als beispielhafte Stichworte seien RDE, Wassereinspritzung, alternative Kraftstoffe oder RCCI-Brennverfahren genannt. Entsprechend müssen Modelle und Simulationsmethodik stets fortentwickelt, Modellvorstellungen angepasst und Wirkmechanismen neu verstanden werden.

Um für die Fragestellungen von morgen bereits heute die richtigen Simulationswerkzeuge zu haben, pflegen wir eine enge Kooperation mit dem Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen (IVK) der Universität Stuttgart und führen eigene Forschungsarbeiten durch.

UNSERE TOOLS

- » GT-Suite/GT-Power
- » FKFS UserCylinder®
- » Converge
- » EnginOS Tiger
- » MATLAB/Simulink
- » CarMaker
- » Dymola
- » Cantera

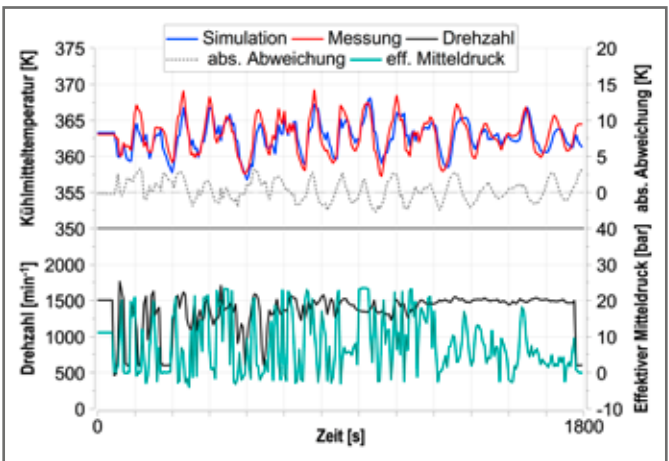


Luftpfadmodell mit FKFS UserCylinder® in GT-Power

DIE FKFS 0D/1D-SIMULATION

UNSERE ERFAHRUNG – IHRE VORTEILE AUF EINEN BLICK

- » Langjährige Erfahrung in der 0D/1D-Simulation
- » Antriebsstränge und Motoren sind uns bestens vertraut. Gerne auch elektrifiziert und im virtuellen RDE.
- » Entscheidend für den Wirkungsgrad eines Verbrennungsmotors ist der Brennraum: Expertise und mächtige Untermodelle über den FKFS UserCylinder®
- » Das Schwierigste an seriösen Simulationsprojekten ist oft die Kenntnis der Grenzen der Simulation: Mit langjähriger Erfahrung und tiefer Kenntnis vieler Untermodelle können wir offen beraten
- » Die virtuellen Versuchsträger unseres Motorenbaukastens helfen beim Testen von Komponenten ohne »eigenen« Motor, ebenso wie bei einer Bewertung von Technologien in unterschiedlichen Zukunftsszenarien
- » Hochqualifizierte Mitarbeiter, enge Anbindung an die Forschung, tiefes Verständnis zu den genutzten Untermodellen
- » Enger Austausch mit unseren Kollegen aus den Bereichen 3D-CFD und Motorenprüffeld



Vorhersage der Kühlmitteltemperatur eines Nutzfahrzeugs im »European Transient Cycle«

ÜBERBLICK: 0D/1D-SIMULATION AM FKFS

- » Aufbau von GT-Modellen anhand von CAD-Daten oder Vermessung von Bauteilen
- » Erstellung schnelllaufender GT-Modelle (FRM) und Software in the Loop (SiL)
- » Abstimmung von GT-Power Modellen mit und ohne FKFS UserCylinder®
- » Verbrennungsentwicklung & -analyse inklusive Emissionsprognosen
- » Verbrennungsregelung
- » Ladungswechselanalyse & -entwicklung
- » 1D/3D-CFD-Kopplung
- » Vergleich unterschiedlicher Aufladungskonzepte
- » Gesamtfahrzeug- & Längsdynamiksimulation
- » Entwicklung von Hybridstrategien
- » Verlustteilung
- » Reibmodellierung
- » Abgasnachbehandlung
- » Aufheizverhalten Abgasanlage (Kat-Light-Off)
- » Thermomanagement & Kühlkreislaufsimulation, Abgasrestwärmenutzung (WHR)
- » Aufbau und Simulation von Öl- und Kraftstoffkreisläufen
- » Mechanik des Kurbel- und Ventiltriebs



Das Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart FKFS wurde 1930 gegründet.

Eine Vielzahl engagierter und hochqualifizierter Mitarbeiter steht zur Verfügung, um Forschungs- und Entwicklungsprojekte in den Bereichen Antrieb, Fahrzeug und Kraftfahrzeugmechatronik durchzuführen. Zahlreiche hoch spezialisierte Prüfstände, eigene, am FKFS entwickelte Mess-, Prüf- und Simulationsverfahren ermöglichen die Lösung komplexer und anspruchsvoller Problemstellungen.

KONTAKT

Dr.-Ing. Michael Grill
Leiter 0D/1D-Simulation
Tel. +49 711 685 65611
michael.grill@fkfs.de



Forschungsinstitut für
Kraftfahrwesen und
Fahrzeugmotoren
Stuttgart