

Simulationsgestützte Auslegung und Optimierung von elektrischen Antrieben

Motor der E-Mobilität

Durch die Notwendigkeit, immer schärfere Emissionsgrenzwerte hinsichtlich CO₂, Stickoxiden und Feinstaub einzuhalten ist die Elektrifizierung des Antriebsstrangs – neben dem autonomen Fahren – eine der Kernherausforderungen für Automobilhersteller und deren Zulieferer.

Batterieelektrische, Mildhybrid- und Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge erfordern in der Produktentwicklung ein gutes Verständnis der physikalischen Zusammenhänge und der Produktionstechnik. Das Zusammenspiel verschiedener Systemkomponenten wie Elektromotoren, Controller, Leistungselektronik und Batterien, deren starke Abhängigkeiten untereinander sowie die physikalischen Wechselwirkungen erfordern einen Prozess, der den Entwurf, die Entwicklung, die Produktion und die Einsatzphase von Produkten umschließt. Ein durchgehender simulationsgestützter Entwicklungsprozess bietet die Chance, die komplexen Anforderungen auszutarieren und in ein optimales Produkt zu überführen.

Schnelle Vorauswahl in der Entwurfsphase

In frühen Phasen der Produktdefinition ist eine schnelle Vorauswahl erfolgsentscheidend. Innerhalb weniger Tage muss ein Design entworfen und die wesentlichen Grundgrößen festgelegt werden. Anhand von Fahrzyklen und Effektivitätsdiagrammen können grundlegende Eigenschaften beispielsweise für den Regelbetrieb ermittelt werden, um den Designraum einzugrenzen. Die Software Motor-CAD Therm erzeugt auf Basis vordefinierter Bibliotheken und bewährter Voreinstellungen ein vollständiges Systemmodell als thermisches Netzwerk. Motor-CAD Emag ergänzt mit automatisiert ablaufenden 2D-FE-Berechnungen die magnetischen Eigenschaften

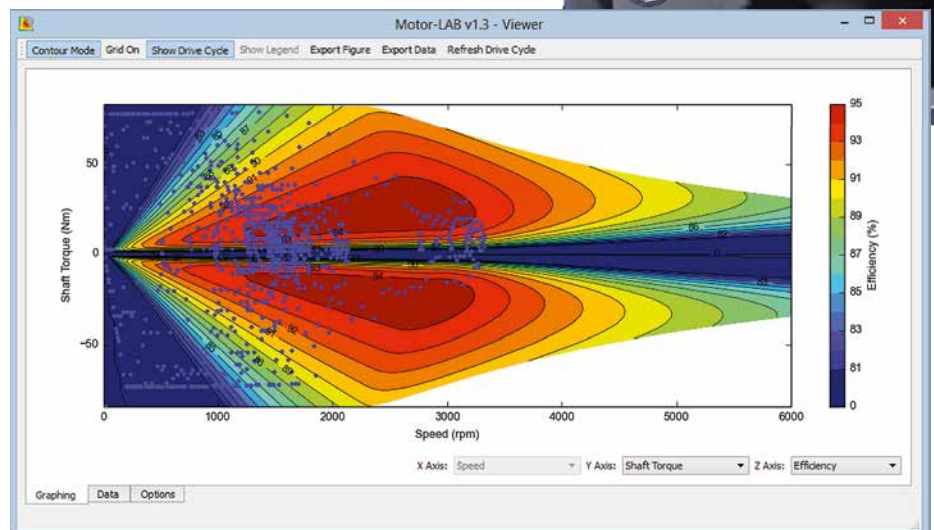


Bild 1: Optimierung des Maschinenwirkungsgrades über die Standardbetriebszyklen.

für verschiedene Betriebszustände wie Leerlauf oder Volllast. Mit Motor-CAD Lab erfolgt eine kombinierte Betrachtung der Effektivität mit dem Fahrzyklus, um die Eignung des Maschinendesigns für das geforderte Fahrprofil abzugleichen. Die umfangreiche Bibliothek von Maschinentypen und Kühlkonzepten sowie die hohe Berechnungsgeschwindigkeit im Bereich weniger Minuten ermöglichen eine zielgerichtete Anpassung des Designs zur Abstimmung der thermischen und magnetischen Eigenschaften auf das Fahrprofil und die Anforderungen (Bild 1).

Auf Basis eines solchen voroptimierten Entwurfs liefern weitergehende Betrachtungen per FEM-Berechnung und CFD-

Analyse detaillierte Aussagen mit höherer Realitätstreue. Die Magnetfeldsimulation mit ANSYS Maxwell bildet den Einfluss von 3D-Effekten ab und sichert die Robustheit in unterschiedlichen Szenarien. Als Beispiele seien hier die Auswirkungen des Wickelkopfs auf die magnetische Feldführung, die thermische oder elektrische Entmagnetisierung, aber auch das Verhalten in Fehlerfällen wie Kurzschluss, Exzentrizität oder axiale Verschiebung genannt. Aufgrund der großen Bedeutung der thermischen Eigenschaften hinsichtlich der Ausfallsicherheit aber auch hinsichtlich der Materialkosten (Materialklassen für Magnete und Isolation) werden thermische Analysen für verschiedene Betriebsarten

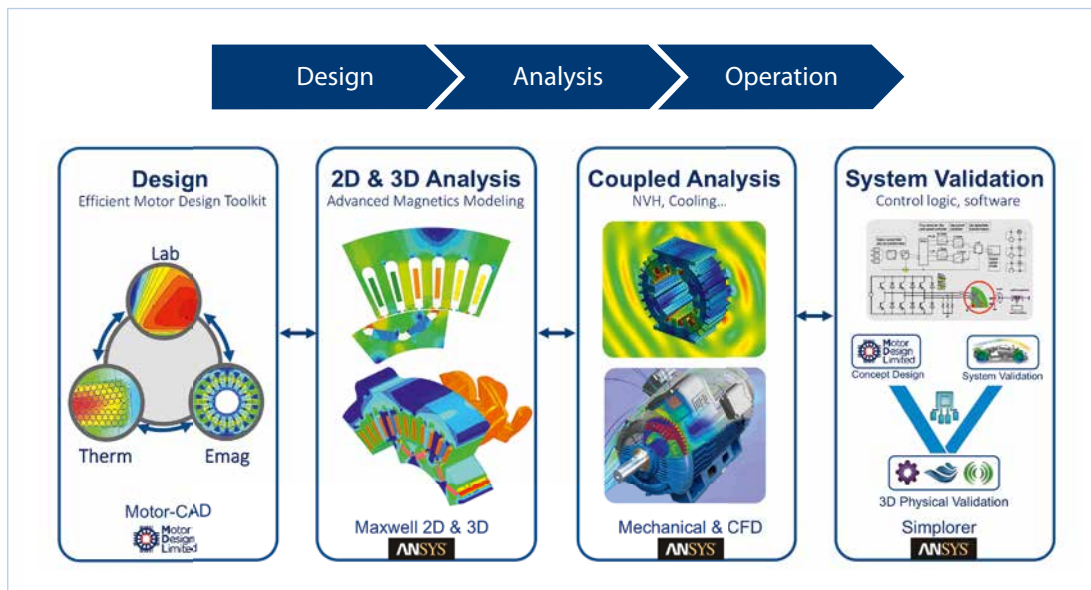


Bild 2: Ein durchgehender simulationsgestützter Entwicklungsprozess bietet die Chance, die komplexen Anforderungen auszutarieren und in ein optimales Produkt zu überführen.

durchgeführt. Das reicht von Betrachtungen einzelner Komponente mit hohem Detailgrad über Gesamtbetrachtungen bei komplexen Einbausituationen in Form von 3D-Strömungsanalysen mit ANSYS CFD und ANSYS Icepak bis hin zu Systemanalysen mit 1D-Strömungsmodellen in ANSYS Simpler.

Realitätstreue und Berechnungsgeschwindigkeit

Für eine Kombination von Realitätstreue, wie sie 3D-Analysen liefern, und der Geschwindigkeit, wie sie für die Untersuchung des dynamischen Zusammenspiels auf Systemebene erforderlich ist, bietet die Technik der Modellordnungsreduktion – zum Beispiel mit Model Reduction inside ANSYS – einen Weg, um Verhaltensmodelle (ROMs – reduced order models) zu erzeugen, die Realitätstreue und Berechnungsgeschwindigkeit kombinieren. Die Wechselwirkung kann jedoch auch räumlich verteilte Größen einschließen, beispielsweise im Fall von Geräuschemissionen, bei denen die verteilten magnetischen Grenzflächenkräfte die mechanische Struktur zu Schwingungen anregen. Solche domänenübergreifenden Arbeitsprozesse waren in der Vergangenheit oft eine

Expertenaufgabe, so dass CADFEM typische Workflows in Form automatisierter Werkzeuge anbietet, zum Beispiel Electric Drive Acoustic inside ANSYS, das für Elektromotoren eine schnelle Bewertung der Körperschall-Emission bietet.

Direkte Einbindung von Entwicklungspartnern

Solche Wechselwirkungen schließen auch die Leistungselektronik und Regelung mit ein, weshalb Systembetrachtungen zunehmend die physischen Komponenten mit Elektronik und Embedded Software kombinieren. Da an dieser Stelle oft Entwicklungspartner von unterschiedlichen Herstellern gefordert sind, geeignete digitale Modelle ihrer Systemkomponente bereitzustellen, unterstützt ANSYS verschiedene Formate und Methoden: FMUs (Functional Mock-up Units) als gekapselte Modelle oder als Cosimulation, reduzierte Modelle per ECE, LTI, modaler Reduktion, Krylov-Unterraum-Verfahren, individuelle Systemkomponenten auf Basis von Modelica und VHDL-AMS oder mehrdimensionale Kennfelder (MOP – Model of Optimal Prognosis). Zulieferer können durch solche Modelle einen Beitrag für die modellbasierte Produktentwicklung leisten und somit eine bessere Kundenbindung erzielen. Eine engere Zusammenarbeit auf Basis digitaler Verhaltensmodelle ermöglicht ihren Kunden eine bessere Systemintegration, kapselt gleichzeitig aber auch die Details der inneren Struktur ihrer Produkte und schützt so ihr geistiges Eigentum.

Aufgrund der vielfältigen und oft miteinander konkurrierenden Anforderungen – wie Bauraum, Leistung, Drehmomentwertigkeit, Effektivität, Temperaturniveau, Material- und Herstellungskosten – erfordert ein gutes Design bereits in frühen Phasen die Kenntnis der relevanten Einflussfaktoren in verschiedenen Betriebszuständen. Die Untersuchung einzelner Designs kann dabei kaum eine systematische Entwicklung unterstützen. Vielmehr setzen erfolgreiche Unternehmen wie EM-motive, ein Joint Venture von Daimler und Bosch, auf automatisierte Variantenuntersuchungen, die alle technischen, aber auch nichttechnische Einflussgrößen (wie Kosten) beinhalten. Auf diese Weise können die komplexen Abwägungen zur Auflösung von Zielkonflikten transparent, mit hoher Geschwindigkeit und hoher Kundenzufriedenheit erfolgen.

CADFEM unterstützt diesen anspruchsvollen Entwicklungsprozess (Bild 2) durch ein Angebot ineinandergreifender Simulationswerkzeuge, effizienter Workflows und einer erfahrenen Mannschaft von Experten, die es gewohnt sind, domänenübergreifende Lösungen zu liefern.

InfoAutoren

Christof Gebhardt, CADFEM GmbH
Dr. rer. nat. Martin Hanke, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0) 30-47 59 666-22
mhanke@cadfem.de

InfoSeminar | Webinar

Elektrische Antriebe – Von der Vorauslegung zur Detailuntersuchung
www.cadfem.de/webinar-e-antriebe