

Concept_One

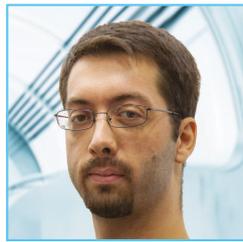
Einblick in die Antriebskonzepte
eines rein elektrischen Supercars



A blue Rimac Concept_One electric supercar is shown from a low-angle, front-quarter perspective on the left side of the frame. The car is parked on a paved road that curves through a rugged, mountainous landscape. In the background, a large blue lake is nestled between rocky hills, with snow-capped mountains under a clear blue sky. The road has a white dashed center line and a solid white edge line. A small triangular warning sign is visible on the right side of the road ahead.

Das Concept_One von Rimac Automobili wurde von Grund auf als rein elektrisches Supercar entworfen – das erste seiner Art. Unbeeindruckt? Wie klingen dann 1088 PS und 4 unabhängige Elektromotoren? Um diese geballte Power zu kontrollieren, kommt eine MicroAutoBox zum Einsatz.

Die Geschichte hinter dem Concept_One ist einzigartig. Ausgedacht hat es sich Mate Rimac, ein Jungingenieur und Erfinder aus Kroatien. Heute ist er 27 Jahre alt und leitet Rimac Automobili mit seinen 80 Angestellten. Das kroatische Unternehmen entwirft, entwickelt, baut und verkauft anspruchsvolle Elektrofahrzeuge und deren Technologien in die ganze Welt.



„dSPACE ControlDesk hat sich unter realen Testbedingungen als unverzichtbar erwiesen.“

Kruno Hrvatinic, Fahrdynamikentwickler, Rimac Automobili

Concept_One wurde 2011 in Frankfurt vorgestellt. Es ist das erste rein elektrische Supercar der Welt mit beeindruckenden Kennzahlen.

Entwurf und Konzept des Antriebsstrangs

Was den Concept_One so besonders macht, ist sein Antriebsstrang. Los ging es mit einem weißen Blatt Papier. Rimac Automobili nahm jede in Frage kommende Komponente genauestens unter die Lupe, um zu entscheiden, welche einen nützlichen Platz im Fahrzeug einnehmen könnte und welche einfach nur Platz wegnimmt. Da man nur durch Allradantrieb vom vollen Grip der Räder

profitiert, werden alle vier angetrieben. Mehrere leistungsstarke Elektromotoren bieten mehr Leistung und wiegen weniger als ein einzelner großer, daher hat jedes Rad einen eigenen Motor. „So hätten wir auf herkömmliche Kupplung und Differenzial verzichten können, dennoch entschieden wir uns für

ein Getriebe. In der Folge ist das Concept_One das einzige Elektrofahrzeug mit einem 2-Gang-Getriebe an jedem Hinterrad, wodurch die beeindruckende Beschleunigung und die Höchstgeschwindigkeit von 325 km/h erreicht werden“, erläutert Kruno Hrvatinic vom Fahrdynamikteam bei Rimac Automobili.

Leistungspaket aus Synchronmotor und Hochvoltbatterie

„Wir entschieden uns für Permanentmagnet-Synchronmotoren. Jeder Frontmotor liefert bis zu 330 Nm Drehmoment, die im Heck sogar 440 Nm – und damit 1540 Nm insgesamt. Die Motoren von Rimac Automobili sitzen paar-

weise in einem Gehäuse, um durch das gemeinsame Kühlsystem Platz und Gewicht zu sparen. Jeder Motor hat ein eigenes Getriebe: Die Vorderachsmotoren besitzen jeweils ein 1-Gang-Getriebe und an den Antrieben der Hinterachse kommt jeweils ein 2-Gang-Doppelkupplungsgetriebe zum Einsatz. Bei

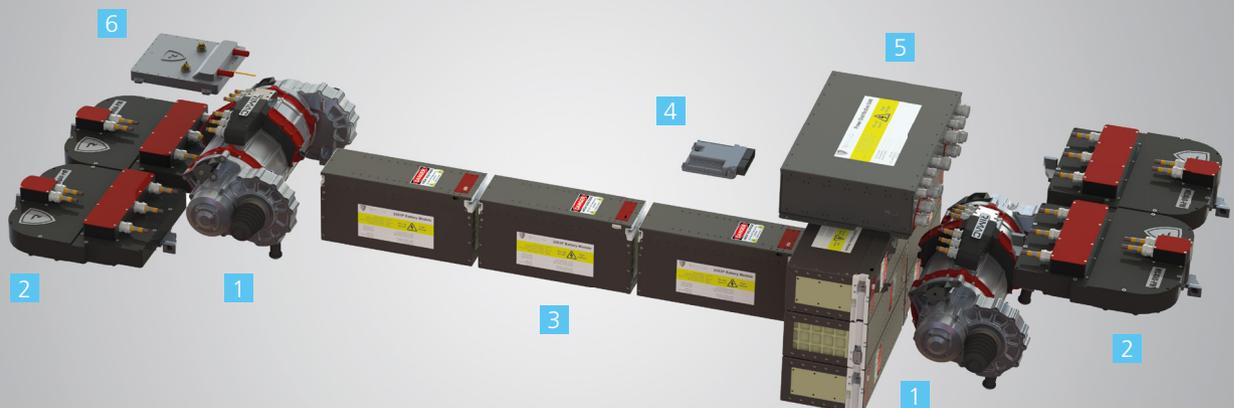
voller Leistung benötigen die Frontmotoren bis zu 400 kW und die hinteren 600 kW;

insgesamt also ein ganzes Megawatt an Batterieleistung“, so Hrvatinic. Die Batterie besteht aus mehreren hundert Lithium-Ionen-Zellen mit einer Betriebsspannung von 650 V. Bei voller Leistung zieht der Motor fast 1600 A. Im reichweitenoptimierten Modus reichen die 82 kWh der Batterie für fast 330 km. Die Zellspannungen und die Temperaturen regelt das von Rimac selbst entwickelte Batteriemanagementsystem, das vom zentralen Fahrzeugsteuergerät über den CAN-Bus gesteuert wird.

Warum überhaupt elektrisch?

Das Beste an einem Antriebsstrang mit vier unabhängig steuerbaren Motoren

Der Antriebsstrang aus zwei Motoreinheiten mit Getrieben (1), Wechselrichtern (2) und mehreren Batteriepacks (3). Weitere Komponenten: zentrales Steuergerät (4), Stromverteilereinheit (5) und Heizung (6).



sind die Freiheitsgrade, die ein solcher Antriebsstrang zulässt. Ein Benziner muss sich auf ein Differenzial verlassen, um das Drehmoment vom Motor auf jedes Rad zu verteilen, also die Leistung mechanisch dahin umzuleiten, wo sie gebraucht wird. Das bringt Verluste mit sich und ist häufig durch die physikalischen Grenzen des Differenzials limitiert. Darüber hinaus können herkömmliche Fahrzeuge nur die Hydraulikbremsen nutzen; diese verschwenden Energie, verschleiben die Bremsscheiben und schlimmstenfalls verlangsamen sie das Fahrzeug mehr als nötig. „Elektromotoren haben diese Nachteile nicht“, fährt Hrvatinčić fort. „Vier Elektromotoren geben uns die Möglichkeit, das Drehmoment an jedem Rad hundertfach in der Sekunde anzupassen, so dass der Motor fast so schnell reagiert, wie die Befehle gesendet werden. Bei Elektromotoren spielt auch die Richtung keine Rolle – sie generieren negatives Drehmoment genauso einfach wie positives. Dieser Prozess heißt rekuperatives Bremsen und produziert nicht nur Wärme, sondern auch elektrische Energie; es wird also ein Teil zurückgewonnen, der für die Beschleunigung des Fahrzeugs genutzt wurde. Dazu kommt der Wirkungsgrad eines Elektromotors auf 95 %, im Vergleich zu rund 35 % bei einem Benziner. Damit haben wir einen leistungsstarken, effizienten, flexiblen und leicht steuerbaren Antriebsstrang.“

Torque Vectoring

Der nächste Schritt war der Entwurf eines Regelalgorithmus, mit dem sich die hohe Leistung und die Flexibilität des Antriebsstrangs in vollem Umfang nutzen lassen. „Einmal mehr fingen wir bei null an. Wir entwarfen ein physikalisches Modell des Fahrzeugs, analysierten sein passives Verhalten und definierten die Ziele, die wir mit dem aktiven Regelsystem erreichen wollten. Um ein Modell zu haben, mit dem wir testen konnten, nutzten wir alle Daten, die sich erfassen ließen: angefangen bei den physikalischen Abmessungen über



Concept_One wird rein elektrisch angetrieben und verfügt über Leistungswerte der oberen Supersportwagenklasse.



Mate Rimac, der Erfinder des Concept_One, am geöffneten Fahrzeugheck. Man sieht die Stomverteilereinheit.

die Fahrwerksgeometrie bis zu den Reifeigenschaften. Diese Daten wurden dann an eine Software-Suite für automotiv physikalische Simulationen übertragen, wo wir die Modelldaten validieren und mit der Entwicklung unseres dynamischen Fahrzeugregelalgorithmus (Rimac All-Wheel Torque Vectoring,

R-AWTV) beginnen konnten“, berichtet Tomislav Šimunić, Leiter des Fahrdynamikteams.

Fahrzeugverhalten elektronisch unter Kontrolle

„R-AWTV ist ein System, das Längs- und Querregelung zu einem großen

>>

Ganzen kombiniert. Es überwacht die Kräfte an jedem Rad und stellt sie so ein, dass das Fahrerlebnis für jeden Fahrer und jede Situation angepasst wird. Das passiert einzig und allein durch Steuern des Drehmoments, das von jedem Motor abgegeben wird, und zwar so, dass sich eine Verbesserung gegenüber der passiven Dynamik des Fahrzeugs ergibt. Durch sorgfältige Überwachung des Fahrzeugverhaltens mit präzisen physikalischen Sensoren wie Beschleunigungsmessern, Gyroskopen, Raddrehzahl- und Lenkwinkelsensoren, die in einen Näherungsalgorithmus einfließen, können wir uns ein genaues Bild über den physikalischen Status des Fahrzeugs machen. Die Höhe des Grips oder der verfügbaren Gesamtkraft an jedem Rad wird geschätzt und dient entweder als Grenzwert für maximale Traktion oder er wird absichtlich überschritten, um das Fahrzeug kontrolliert seitlich ausbrechen zu lassen.“

Der Fahrer bestimmt die Querdynamik

Rimac wollte ein System, das den durchschnittlichen Fahrer bei hohen Geschwindigkeiten und scharfen Kurven sicher und stabil auf der Straße hält,

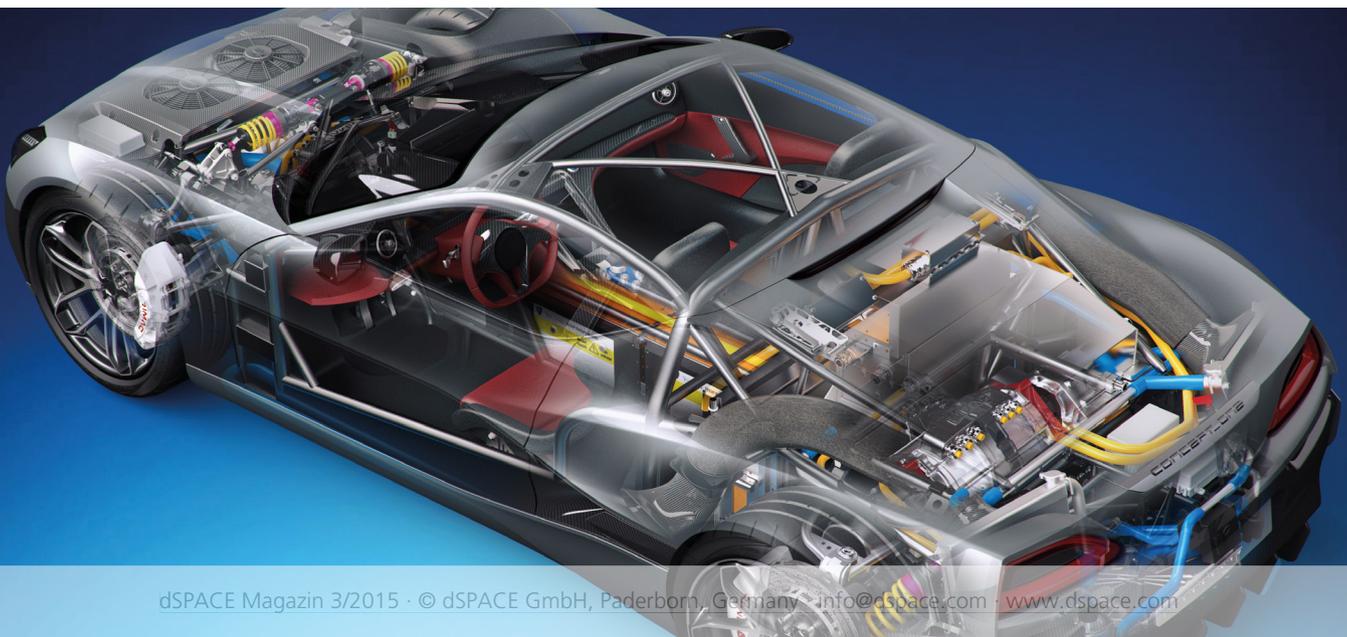
aber gleichzeitig dem sehr sportlichen Fahrer nicht das Gefühl gibt, zu viel eingzugreifen. Das System musste also deutlich konfigurierbarer sein und mehr bieten als einen An-/Ausschalter, den die meisten Serienfahrzeuge haben. Die Mittelkonsole des Concept_One ist so ausgelegt, dass der Fahrer mit einem Drehknopf zwischen den Fahrmodi wechseln kann. Während der Standardmodus auf maximale Stabilität ausgelegt ist, bietet der Dynamikmodus die Möglichkeit, die Fahrbereichsgrenzen deutlich weiter auszuloten. Darüber hinaus ermöglicht die innovative Mensch-Maschine-Schnittstelle dem Fahrer eine vollflexible Drehmomentverteilung. Damit kann das Fahrzeug komplett über Front oder Heck angetrieben werden, aber auch jede Einstellung dazwischen ist möglich.

Rolle der MicroAutoBox

„Um die Leistungsfähigkeit und Flexibilität des Antriebsstrangs voll auszunutzen zu können, musste eine Plattform implementiert werden, auf der clevere Regelungen schnell und zuverlässig verarbeitet werden können. Darum haben wir uns entschieden, die MicroAutoBox

als Rapid Prototyping System für die Entwicklung des zentralen Steuergeräts einzusetzen. Sie koordiniert den Verbund aus sekundären Steuergeräten, bietet sicherheitsrelevante Leistungsmerkmale wie einen Schutz vor Überhitzung und eine Gerätefehlererkennung, koordiniert die Anforderungen des Fahrers und implementiert das Drehmomentverteilungssystem von Rimac“, führt Hrvatinic weiter aus. Der Concept_One nutzt alle vier CAN-Buskanäle der MicroAutoBox für die Kommunikation mit dem Batteriemanagementsystem, dem Steuergerät für die Verteilung und Aufladung, den vier Wechselrichtern und verschiedenen Fahrwerksteuergeräten. Das dSPACE RTI CAN Blockset hat sich an dieser Stelle als besonders nützlich erwiesen, da es die Nachverfolgung und Verwaltung der ca. 200 CAN-Botschaften von und an diverse Geräte auf dem Bus erlaubt. Dafür kommen sowohl die seriellen Standard-Kanäle zum Einsatz als auch die meisten der analogen und digitalen Eingänge. „Das Konvertieren des Regelalgorithmus aus einem Simulink-Modell, das kompatibel mit unserer Simulationssoftware ist, in ein Programm,

Gespickt mit neuester Technologie: Um die vielfältigen Systeme des Concept_One miteinander zu vernetzen, setzt Rimac Automobili ein zentrales Steuergerät ein, das mit Hilfe einer dSPACE MicroAutoBox entwickelt wurde.



v-max
325 km/h

Power
1088 HP

0-100 km/h
2,8 sec



„Die Entwicklungsarbeit mit der MicroAutoBox von dSPACE ist einfach und unkompliziert. So können die Ingenieure ihrer Kernaufgabe Reglerentwicklung nachgehen, ohne sich um den zugrunde liegenden Code zu kümmern.“

Tomislav Šimunić, Leiter des Fahrtechnikteams, Rimac Automobili

das auf der MicroAutoBox ausgeführt werden kann, ist einfach und unkompliziert. So können die Ingenieure ihrer Kernaufgabe nachgehen, ohne sich um den zugrunde liegenden C-Code zu kümmern“, resümiert Šimunić.

Exakte Signalanalyse mit ControlDesk

Hrvatinić weiter: „dSPACE ControlDesk hat sich unter realen Testbedingungen als unverzichtbar erwiesen. Die Möglichkeit, den Wert jedes Signals in Echtzeit zu prüfen und aufzuzeichnen, vereinfacht das Debugging und ist zudem sehr hilfreich bei der Leistungsevaluierung dynamischer Regelsysteme. Nach dem Testlauf kann direkt auf die Test-

daten zugegriffen werden, so dass wir den Tag auf der Strecke voll ausnutzen können.“ ControlDesk ist zudem sehr hilfreich bei der manuellen, unmittelbaren Feinabstimmung von Algorithmen-Parametern. Da sich die Werte von Parametern auch leicht ändern lassen, wird die Zeit zwischen Testdurchläufen mit unterschiedlichen Controller-Aufbauten reduziert. Unterschiedliche experimentelle Teilsysteme des Aufbaus können an- und ausgeschaltet werden, ohne dass die Struktur des Reglermodells geändert werden muss.

Ausblick

Nur acht Supercars der ersten Serie Concept_One World Edition sollen pro-

duziert werden, aber das Design und die Regelalgorithmen werden kontinuierlich weiter verbessert. Die Expertise und die Komponenten, die intern für das Concept_One entwickelt und hergestellt wurden, unter anderem das Infotainment-System, das Antriebsstrang- und das Batteriesystem, kommen in unterschiedlichen B2B-Projekten zum Einsatz. Rimac arbeitet weiter daran, die leistungsstärksten und raffiniertesten Elektrofahrzeuge der Welt zu entwickeln, zu bauen und damit neue Wege zur Implementierung seiner bahnbrechenden Technologie in unterschiedlichen Bereichen und Industrien zu beschreiten. ■

Mit freundlicher Genehmigung von Rimac Automobili, Kroatien.

Ein Touchscreen in der Mittelkonsole zeigt die Leistungswerte während des Motorbetriebs und bietet exakte Einstellmöglichkeiten.

