

BILD 1 Transiente DES-Simulation bei 10° Schräganströmung
(© Rennteam Uni Stuttgart)
FIGURE 1 Transient DES simulation at 10° inclined flow
(© Rennteam Uni Stuttgart)

Motorkühlung umgesetzt. Außerdem wurde ein Unterboden mit optimiertem Diffusor eingesetzt. Im Entwicklungsprozess wurde dabei stets auch auf den Luftwiderstand sowie das Gewicht der Bauteile geachtet. Die Vorauslegung der Flügelgeometrien wurde zweidimensional mit Exa Powerflow bewerkstelligt. Mithilfe des Clusters des Höchstleistungsrechenzentrums der Universität Stuttgart (HLRS) wurden 3-D-Gesamtfahrzeugsimulationen mithilfe von StarCCM+ durchgeführt, BILD 1.

Während der Saison konnten aufgrund einer vollen Simulationsautomatisierung über 600 Design-Iterationen am Gesamtfahrzeugmodell durchgeführt werden. Jede Woche wurde eine neue Entwicklungsgrundlage entschieden. Darauf aufbauend wurde nur ein aerodynamisch wichtiges Element hinzugefügt oder in seiner Geometrie verändert, um stets vergleichbare Simulationsergebnisse hervorbringen. Durch konsequente Entwicklung in Kurvenfahrzuständen konnte der Abtrieb in Kurven gegenüber dem letztjährigen Boliden um durchschnittlich 35 % gesteigert werden.

AKTIVE AERODYNAMIK

In den letzten Jahren wurden aktive Flügелеlemente immer wieder von Formula-Student-Teams genutzt, um den Luftwiderstand, den ein Aerodynamikpaket mit sich bringt, zu verringern. Auch das Rennteam Uni Stuttgart nutzt am Heckflügel ein elektrisch angesteuertes Drag Reduction System (DRS), um eine kombinierte Effizienz – dem Quotienten aus Abtrieb in Kurvenfahrt und Luftwiderstand mit DRS in Geradeausfahrt – von $E = 3,2$ zu erreichen. Vom Fahrer gesteuert sinkt dabei der Luftwiderstand bei einer Aktionszeit von 0,2 s um 30 %. Dies verspricht ein optimiertes Beschleunigungs-

ungsverhalten und Spitzengeschwindigkeiten auf gerader Strecke.

Außer der Steigerung der Effizienz ist auch die aerodynamische Balance des Fahrzeugs ein relevanter Aspekt. Weil einige Elemente des Aerodynamikpakets im Bodeneffekt arbeiten, kommt es mit steigender Geschwindigkeit, der resultierenden Anpresskraft und der damit niedrigeren Bodenfreiheit zu einer Veränderung der Balance zur Front des Fahrzeugs. Dies impliziert ein sich änderndes Fahrverhalten hin zu einem Übersteuern des Fahrzeugs bei hohen Geschwindigkeiten. Da in der Formula Student nur Amateurfahrer zugelassen sind, die mit relativ wenig Fahrertraining optimal auf den Wettbewerb vorzubereiten sind und ein untersteuerndes Auto bei hohen Geschwindigkeiten leichter zu kontrollieren ist als ein übersteuerndes, entwickelte das Rennteam Uni Stuttgart dieses Jahr ein aktives Aerobalance-Verstellungssystem. Dieses ermöglicht durch eine Veränderung des Anstellwinkels eines Teils des Frontflügels eine Balanceverstellung von 20 %. Die Verstellung findet über die Geschwindigkeit des Fahrzeugs statt und kann direkt am Lenkrad vom Fahrer auf dessen Bedürfnisse angepasst werden. Die Verbesserung der Balance spiegelt sich direkt im Fahrverhalten des Fahrzeugs wider. Das Ergebnis ist ein agiles Fahrzeug bei niedrigen Geschwindigkeiten und ein stabiles und sicheres Fahrverhalten bei hohen Geschwindigkeiten.

KÜHLUNG OPTIMIERT

Wo Energie umgesetzt wird, entsteht Hitze. Diese muss durch ein Medium abgeführt werden. Da Luft in unbegrenztem Maße verfügbar ist, wurde für die Bremsenkühlung ein direkter Luftstrom, für die Motorkühlung ein Luft-Wasser-Wärmetauscher verwendet. Hier

denzeit hat. Hierzu wurde die Rundenzeitsimulation derart erweitert, um eine Aussage über die Sensitivität des Abtriebs auf die Rundenzeit bei verschiedenen Fahrzuständen zu erlangen. Mithilfe der Simulationsergebnisse und einer Auswertung von Messdaten aus dem Fahrzeug wurden Punkte festgelegt, die für die weiteren Aerodynamikentwicklungen ausschlaggebend sind. Bei den kurvenreichen Strecken in der Formula Student ist besonders der Abtrieb bei Kurvenfahrt entscheidend für ein schnelles Fahrzeug.

ENTWICKLUNG DES AERODYNAMIKPAKETS

Anhand der gewonnenen Daten aus der Rundenzeitsimulation wurde das Aerodynamikkonzept gezielt auf die Kurvenzustände des Fahrzeugs hin entwickelt. Dabei wurden Front- und Heckflügel optimiert sowie erstmals ein Seitenflügel mit integrierten Wasserkühlern für die

BILD 2 Weg der Kühlerdurchströmung durch das Fahrzeug (© Rennteam Uni Stuttgart)
FIGURE 2 Path of the cooling flow through the vehicle (© Rennteam Uni Stuttgart)

entschied sich das Rennteam Uni Stuttgart in der Saison 2015/2016 für ein symmetrisches Konzept mit zwei Wasserkühlern, um Motorkühlprobleme selbst bei tropischen Temperaturen ausschließen zu können, BILD 2. Die Abgasanlage wurde dadurch im Hinter-

wagen platziert. Dabei wurde die gesamte Motorperipherie kompakter gestaltet, um mehr Freiraum für eine gute Umströmung des Fahrzeugs zu erreichen. Kühler sowie Lüfter wurden auf Prüfständen vermessen und die Kennlinien in die Simulation imple-

mentiert, um eine gezielte Verbesserung der Luftführung im Bereich der Kühler zu verwirklichen. Dadurch konnte im Verlauf der Entwicklung der Luftmassenstrom durch den Wasserkühler um 30 % erhöht werden. Im Bereich der Bremsenküh-

Antriebs- und Fahrzeugtechnik im Gespräch.

ATZ live

FACHKONFERENZEN
FÜR FAHRZEUG- UND
MOTORENINGENIEURE

- § Gesamtfahrzeug
- § Motor und Antriebsstrang
- § Chassis und Fahrerassistenz
- § Karosserie und Akustik
- § Elektromobilität

Aktuelle Tagungsprogramme: www.ATZlive.de

lung wurde ein zwanzigprozentiger Zuwachs des Massenstroms ohne steigenden Einfluss auf die aerodynamische Effizienz ermöglicht.

ANBAUTEILE IN EIGENREGIE

Um das Gewicht des Aerodynamikpakets so gering wie möglich zu halten, wurden alle aerodynamischen Anbauteile in Eigenregie aus einem Sandwich aus kohlefaserverstärktem Kunststoff und einem Schaumkern aufgebaut. Die Flügelschalen sind aus einer 0,2 mm

starken CFK-Außenlage, einem 1 bis 2 mm dickem Schaumkern und einer weiteren 0,2 mm starken CFK-Innenlage aufgebaut. Eine aufwendige Innenstruktur aus Rippen und Holm verstärkt diese Struktur weiter. Hierdurch wiegt das komplette Aerodynamikpaket, das aus 32 einzelnen Flügелеlementen und weiteren Anbauteilen wie Endplatten und Luftleitelementen aufgebaut ist, weniger als 15 kg. Bei einer Höchstgeschwindigkeit von 125 km/h erzeugt und trägt dieses Paket jedoch ungefähr 300 kg an Abtrieb, also das zwanzigfache seines Eigengewichts.

VALIDIERUNG AM REALEN FAHRZEUG

Aufgrund der stationären Entwicklung in der Simulation mithilfe von RANS-Turbulenzmodellen und dem dabei entstehenden numerischen Restfehler, wurden die Ergebnisse am realen Fahrzeug validiert. Das FKFS stellt dem Rennteam Uni Stuttgart seit 2015 für einige Stunden ihren Fünfband-Windkanal zu Verfügung, um die Validierung zu betreiben. Da der Radstand des Rennwagens zu klein ist, um alle Räder auf den Radbändern rotieren zu lassen, wurden die Vorderräder auf den Bändern platziert und auf den weniger aerodynamisch relevanten Hinterrädern eine Abrisskante positioniert, um das Strömungsfeld im Radnachlauf besser zu simulieren. Von einer Reynoldsreihe ausgehend wurden einige Tests mit verschiedenen Anbauteilen sowie die Adaption des Anstellwinkels von Flügелеlementen gemessen und ausgewertet. Auch wurde das aktive Balan-

cesystem untersucht und Vergleiche zur Simulation sowie Auswertungen der Dämpferpotentiometer aus Rollversuchen durchgeführt, BILD 3. Es zeigten sich sehr gute Übereinkünfte der Funktion des Systems.

Die stationäre Simulation sagte 10 % höhere Abtriebswerte im Vergleich zum Windkanal voraus, die transiente Detached-Eddy-Simulation ergab 3 % Abweichung. Diese Ungenauigkeiten sind den Vereinfachungen in der Simulation und den nicht exakt nachgebildeten Randbedingungen im Windkanal geschuldet.

AERODYNAMIK FÜHRT ZU ERFOLGEN

Im Moment blickt das Rennteam Uni Stuttgart auf seine bislang erfolgreichste Saison zurück. Das Aerodynamikpaket des 0711-11, BILD 4, war eine der größten Verbesserungen im Vergleich zum Vorgängerfahrzeug. Erstmals wurden aktive Aerodynamikelemente zur Optimierung der aerodynamischen Balance verwendet. In Verbindung mit einer Verbesserung der Fahrdynamik und der Zuverlässigkeit konnte ein wettbewerbsfähiger Rennwagen entwickelt werden, der gegen die starke Konkurrenz im Wettbewerb bestehen kann. Dies legt einen soliden Grundstein für die künftige Weiterentwicklung einer immer größer werdenden Flotte erfolgreicher Rennboliden des Teams.

LITERATURHINWEIS

[1] Aerodynamik beim Rennteam Uni Stuttgart. In: ATZextra Formula Student Germany 2013, Springer Fachmedien, 2013, S. 34-41