

proTRon AERIS - Entwicklung eines alltagstauglichen Energiesparfahrzeuges

von: Prof. Dr. Hartmut Zoppke, Dipl.-Ing. Michael Hoffmann, Dipl.-Ing. Sebastian Knauf, Dipl.-Ing. Daniel Ruppert

Der Shell-Eco Marathon

Mit einem Liter Kraftstoff die größtmögliche Entfernung zurücklegen und so wenig Schadstoffe wie möglich ausstoßen, das ist der Grundgedanke des Shell Eco Marathons. Der derzeitige Rekord liegt bei 3836 km mit einem Liter Benzin, oder einem Verbrauch von nur 0,026 Litern auf 100 km. Jedes Jahr lädt das Energieunternehmen Shell junge Menschen ein, ihre Ideen von zukünftiger Mobilität und verantwortungsbewusstem Umgang mit Energie umzusetzen, und ein Fahrzeug zu entwerfen sowie zu konstruieren, das diesen Kriterien entspricht.

Im Jahr 2009 feierte der Shell-Eco Marathon sein Debüt auf dem Eurospeedway Lausitzring. Egal, welches Antriebskonzept – alle Fahrzeuge der Prototypenklasse müssen acht Runden mit je 3,2km in 51 Minuten zurücklegen. In der Urban Klasse werden sieben Runden mit 3,17km absolviert. Inclusive drei Stopps à 10 Sekunden ist dort eine Maximalzeit von 53 Minuten vorgegeben. Der beste von vier (Prototyp) bzw. drei (Urban) Versuchen wird gewertet. Die Verbrauchsdaten werden dann umgerechnet, um das Äquivalent „Fahrstrecke in Kilometern pro 1 Liter Superbenzin“ zu ermitteln.

Der proTRon II erreichte beim diesjährigen Wettbewerb eine Laufleistung von 3178km/1l und der AERIS wurde mit dem Titel „*Highly Recommended for Design*“ ausgezeichnet.



Abbildung 0-1: Das Team proTRon am Eurospeedway Lausitzring

Das Team proTRon der FH-Trier

Energieeffiziente Fahrzeuge und Fahrzeugantriebe stellen einen Lehr- und Forschungsschwerpunkt im Fachbereich Technik der FH Trier dar und so war es nur konsequent, dass sich im April 2006 ein studentisches Team formierte, um eine Teilnahme am Shell Eco Marathon mit einem eigenen Fahrzeug vorzubereiten. Professoren und Hochschulmitarbeiter unterstützen dieses eigenverantwortlich arbeitende Team.

Den größten Teil des heute 35 Personen zählenden Teams bilden Studierende der Fachrichtung Maschinenbau/Fahrzeugtechnik und Elektrotechnik. Weiterhin arbeiten Studierende der Fachrichtung Informatik und Kommunikationsdesign mit im Projekt, denn nicht nur die technische Umsetzung sondern auch die Öffentlichkeitsarbeit ist ein wichtiger Bestandteil des Projektes. Die Arbeit erfolgt größtenteils parallel zum normalen Semesterbetrieb, jedoch werden auch regelmäßig mehrere Diplom-/Bachelor- und Praxisarbeiten im Rahmen des Projektes angefertigt.

Zwei Jahre nach der ersten erfolgreichen Teilnahme am Shell-Eco Marathon im Jahr 2007 mit dem Fahrzeug proTRon I setzte sich das Team ein neues Ziel. Neben der Teilnahme in der Klasse der Prototypen sollte ein weiteres Fahrzeug für die Urban-Concept-Kategorie entwickelt werden. Der Startschuss für dieses neue Fahrzeug, den proTRon AERIS, fiel im Oktober 2008. Bereits acht Monate später im Mai 2009 drehte der AERIS seine ersten Runden aus eigener Kraft auf dem Eurospeedway Lausitzring im Rahmen des Shell-Eco Marathons 2009.

Entwicklung des proTRon AERIS

Die Idee des proTRon AERIS ist es, die erfolgreiche Technologie des weiter entwickelten proTRon II auf ein alltagstaugliches Fahrzeug zu übertragen. Dieses Forschungsfahrzeug soll an der FH Trier künftig auch als Versuchsträger für verschiedene Projekte des Instituts für Fahrzeugtechnik Trier (IFT) und seiner Partner dienen. Bei der Konzeptfestlegung bedeutet Alltagstauglichkeit für das studentische Team, dass der AERIS ein Zweisitzer ist, der auch von Menschen mit 1,90m Körpergröße gefahren werden kann und in der Bedienung einem Serien-PKW entspricht. Selbstverständlich wurde für dieses straßentaugliche Stadtfahrzeug auch ein Kofferraum vorgesehen. Mit 3,5m Länge, 1,3m Breite und 1,1m Höhe hält das Fahrzeug die maximal zulässigen Maße im Reglement des Shell-Eco Marathons ein, geht aber in seinen Nutzungsmöglichkeiten weit über die dort geforderten Mindeststandards hinaus. Mit

der bereits mit proTRon II unter Beweis gestellten Kompetenz und den neuen anspruchsvollen Anforderungen konnte neben weiteren Sponsoren die Wilhelm Karmann GmbH für eine Zusammenarbeit gewonnen werden. Das Karosseriedesign wurde in Workshops von den Studierenden und professionellen Industriedesignern von Karmann erarbeitet.

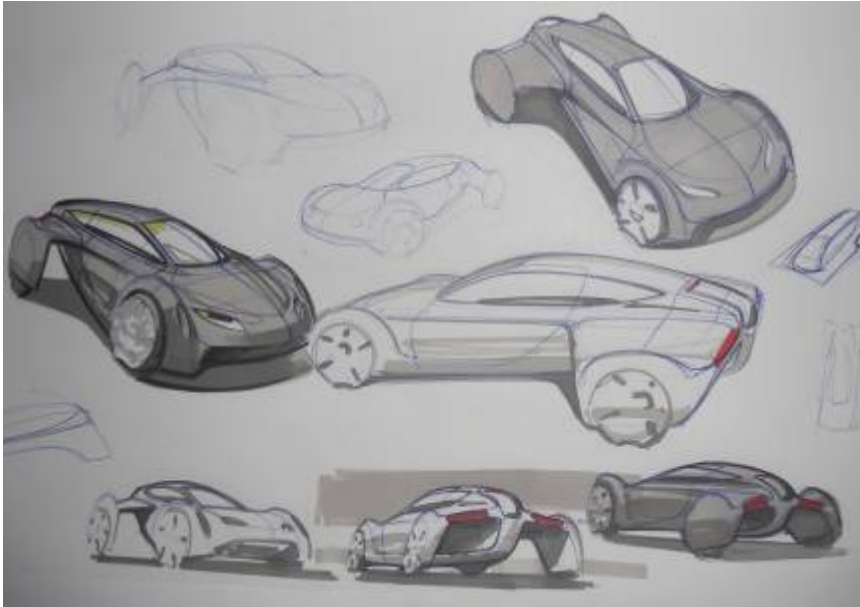


Abbildung 0-1: Erste Designskizzen

Aus ersten Designskizzen wurden 3D-CAD Modelle erstellt, welche von Studenten auf Ihre Strömungseigenschaften untersucht und optimiert worden sind. Diese Optimierung wurde mit der CFD-Software (Computational Fluid Dynamics) ANSYS Fluent durchgeführt, einem High-End Berechnungstool, das auch in der Automobilindustrie verwendet wird.

Durch ständige Detailoptimierung konnte ein CW-Wert von 0,18 erreicht werden. Im Vergleich dazu, hat ein besonders strömungsgünstiger PKW einen CW-Wert von 0,25.

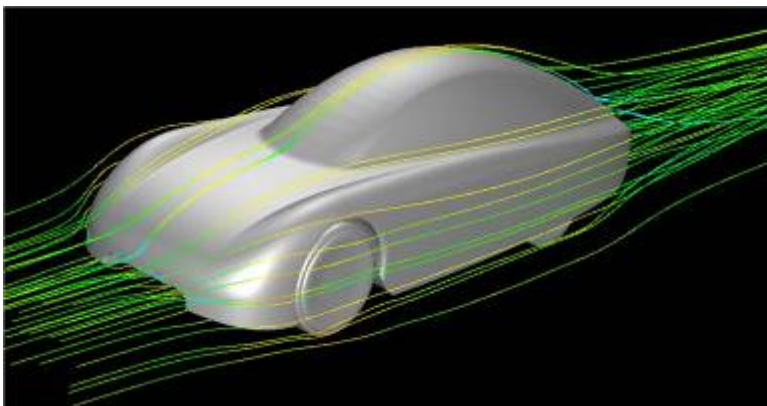


Abbildung 0-2: CFD-Simulation des Karosserie

Nach dem sogenannten Design-Freeze wurden alle weiteren konstruktiven Auslegungen und Details, Berechnungen bis hin zur Erstellung der Programme zur Fertigung von Einzelteilen im CAD/CAM Verbund mit dem CAE-System CATIA V5 durchgeführt.

Dieses CAE-System wird an der FH Trier, mit einer der größten Installationen in der Lehre und Forschung in Deutschland, bereits seit 1990 in der Lehre eingesetzt. So entstand ein praxisnaher virtueller Entwicklungsprozess nach der Methode des Simultaneous Engineering, an dem ca. 40 ausgesprochen engagierte Studenten in verschiedenen Konstruktionsteams mitwirkten. Somit entstand bereits lange vor den ersten Fertigungsschritten ein virtuelles 3D-Modell des Gesamtfahrzeugs, an dem im Vorfeld bereits Fehler wie z.B. Kollisionen oder Montageprobleme vermieden werden konnten. Durch den Einsatz dieser virtuellen Methoden lagen die Entwicklungszeiten beider Fahrzeuge deutlich unter denen der Fahrzeugindustrie.

Ergonomie

Die Auslegung aller ergonomischen Einflussgrößen auf Fahrer und Beifahrer wie Sitzposition, Erreichbarkeit von Bedienelementen, Sichtfeld laut Reglement und Ein-/Ausstieg wurden am virtuellen Modell in dem CAE-System Catia V5 vorgenommen. Dazu stand ein leistungsfähiges Modul zur Verfügung, mit dessen Hilfe virtuelle Menschmodelle zur Analyse der Mensch-Produkt-Interaktion erstellt und simuliert werden konnten.



Abbildung 3: Simulation der Sitzposition

Topologieoptimierung

Zur Ermittlung steifigkeits- und gewichtsoptimierter Bauteilgeometrien wurden Berechnungsmodelle zur Topologieoptimierung erstellt. Zum Einsatz kam hier das Modul

CATOPO, ein Spezialmodul der Fa. CES Eckart, welches im Rahmen eines Sponsorings zur Verfügung gestellt wurde. Die Software errechnet nach mathematischen Algorithmen, z.B. aus der Evolutionstheorie aus vorgegebenen Bauraum- und Lastfallvorgaben einen dafür optimierten Bauteilentwurf, nach dem der Konstrukteur dann das Bauteil in CATIA V5 weiter gestalten kann.

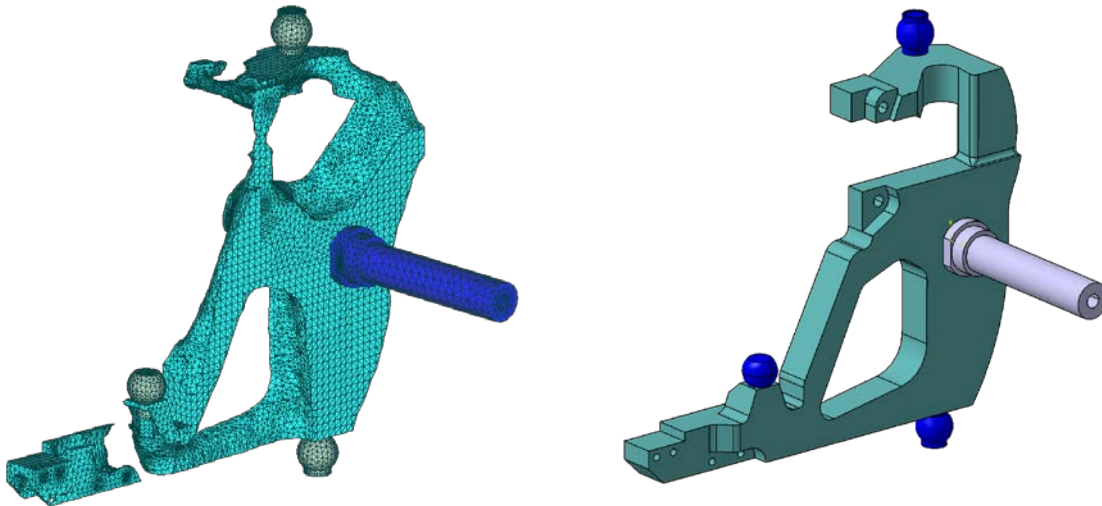


Abbildung 4: Berechnungsergebnis und endgültige Geometrie der Radaufhängung

Fahrwerk

Auch das Fahrwerk des AERIS wurde leicht und damit energiesparend ausgelegt. So besteht die Vorderradaufhängung aus einer leichten Aluminium Doppelquerlenker Konstruktion wie sie auch in PKWs eingesetzt wird. Die Lenkung erfolgt über eine nur 1,6kg schwere Zahnstangenlenkung und ermöglicht einen Lenkwinkel von bis zu 30° . Dies entspricht einem Kurvenradius von 6m und somit der gesetzlichen BOKraft Verordnung. Die Zahnstange wird konventionell über eine Lenkstange mit Lenkrad im Fahrgastraum gesteuert.

Durch die Auslegung nach Ackermann wurden die Schräglaufwinkel in Kurvenfahrten auf ein Minimum reduziert, was wiederum zu weniger Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn führt und somit zu weniger Energieverlust. Auch dem Komfort wurde Rechnung getragen durch Einsatz extrem leichter Feder-Dämpfe-Elemente die eine Einfederbewegung bei Bodenwellen zulassen, aber auf der Rennstrecke starr eingestellt werden können.

Fertigung des proTRon AERIS

Aufgrund der formulierten Anforderungen an ein Energiesparfahrzeug und der Erfahrungen aus den zurückliegenden Projektjahren wurde entschieden, die Karosserie vollständig aus Kohlefaserverbundwerkstoffen herzustellen. Die hohe Steifigkeit bezogen auf das Gewicht und die Möglichkeit die Struktur zum einen als Außenhaut und zum anderen als tragendes Chassis auszuführen ließen diesen Schritt sinnvoll erscheinen. Verwendet man in der Automobilindustrie Press- und Tiefziehteile mit hohen Investitionskosten, so stellt die Verwendung von Faserwerkstoffen und Laminierformen die kostengünstigste Variante für die Fertigung von Freiformflächen im Prototypenbau dar. Die Kosten für den Formenbau und die Kosten für das Endprodukt liegen sehr nahe beieinander, im Vergleich dazu unterscheiden sich in der Serienfertigung die Kosten für die Werkzeuge und die Kosten des Endproduktes um ein Vielfaches.

Als Ausgangsmodell diente ein von der Fa. Karmann aus Hartstyropor gefrästes 1:1-Modell des Fahrzeuges, welches für die anschließende Herstellung der Formen oberflächenversiegelt und poliert wurde. Bei der Herstellung von Bauteilen ausgehend von einem Positiv entscheidet die Oberflächenqualität des Modells nahezu vollständig über die Qualität des späteren Bauteils. Kleine Lunker und Lufteinschlüsse können in der Form behoben werden, Fehler in der Flächenführung oder Beulen können nur mit erheblichem Aufwand ausgebessert werden. Deshalb griff das Team auf die Erfahrung eines langjährigen Karosseriebaumeisters zurück, welcher mit seinem Fingerspitzengefühl auch die letzte Unebenheit aufspürte und den Studenten bei der Behebung Hilfestellung gab.

Der erste Schritt auf dem Weg zu einer hochwertigen Glasfaserverbundstoffform bestand im Auftragen von Oberflächenharz, dieses stellt später die Oberfläche der Form dar und kann vor dem Laminieren aufpoliert werden. Im Anschluss daran wurden mehrere Lagen Glasfasermatten aufgelegt und mit Epoxidharz getränkt, bis man eine Materialstärke von ca. 6mm erreichte. Nach Aushärtung und Temperung konnte die Form vom Modell gelöst werden. Da das Fahrzeug auf Grund von Hinterschnitten z.B. an den Radhäusern nicht in Einem abgeformt werden konnte, mussten insgesamt neun Formen mit exakt passenden Trennstellen gefertigt werden. Diese wurden im nächsten Schritt zusammengesetzt, aufpoliert und mit einem speziellen Trennwachs versehen.

Der Aufbau des zuvor berechneten Laminats erfolgt unmittelbar auf die vorhandene Trennschicht und erfordert ein hohes Maß an Genauigkeit, da hiermit die mechanischen

Eigenschaften des späteren Bauteils definiert werden. Der Zuschnitt der Kohlefaser und des eingesetzten Stützmaterials wurden mit Hilfe von Schnittschablonen aus den CAD-Daten des Fahrzeuges erstellt und wurde sorgfältig von den Studenten durchgeführt. Nach Einbringen der Kohlefaserlagen wurde ein PET-Schaum, zur Erhöhung der Materialstärke und damit einhergehend mit der Steigerung des Flächenwiderstandmomentes, in die Zwischenlage eingelegt. Die Decklage aus Kohlefaser vervollständigt den Aufbau.

Beim angewendeten VaRTM-Verfahren (Vacuum-assisted-Resin-Transfer-Molding) wird die gesamte Form eine reißfeste Folie gehüllt und anschließend vakuumiert. Dadurch wird zum einen das Laminat gegen die Formoberfläche gepresst und zum anderen fließt das Harz aufgrund der Druckdifferenz (Vakuum gegenüber Umgebungsdruck) über Zuleitungen in die einzelnen Lagen. Durch diese Art der Tränkung wird ein hoher Faservolumenanteil und damit eine hohe spezifische Steifigkeit erreicht, da die Faser nur mit soviel Harz getränkt wird, wie sie aufnehmen kann. Überschüssiges Harz sammelt sich in den Zu- und Ableitungen sowie in einem Vlies auf der Oberseite des Laminates. Dieses Verfahren wird seit dem Jahr 2006 an der Fachhochschule Trier eingesetzt und für unsere Spezifikationen weiterentwickelt. Zusammen mit verschiedenen Industriepartnern konnte bereits ein breites Wissensgebiet und die dazu notwendige technische Ausrüstung aufgebaut werden. Aus dieser Tatsache heraus haben sich zwei Absolventen und jetzige wissenschaftliche Mitarbeiter der FH Trier, Herr Dipl.-Ing. Bastian Morbach und Herr Dipl.-Ing. Daniel Ruppert, selbständig gemacht und bieten die Umsetzung des genannten Prozesses als Dienstleistung an. Nach Abschluss der Infusion wird das Bauteil wiederum getempert und anschließend entformt. Die Einzelteile können nun montiert und verklebt werden.

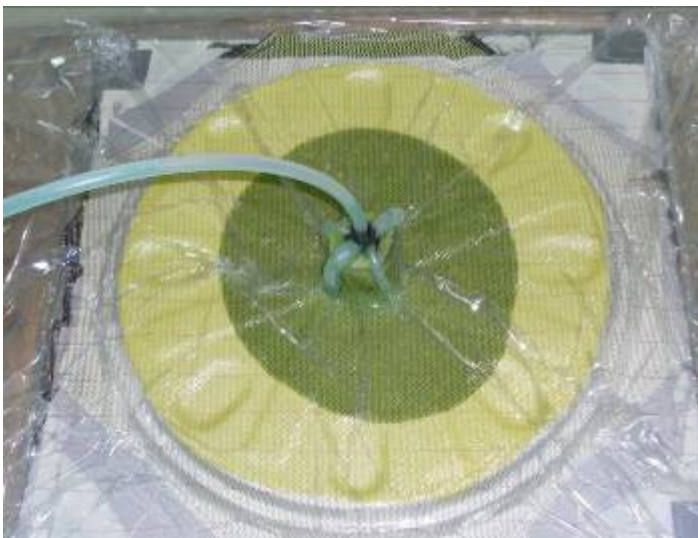


Abbildung 4: Vakuuminfusion der Felgen aus Kohlefaser

CAD/CAM Verbund

Viele der Bauteile wurden auf Basis der 3D-Geometrie im CAD/CAM Verbund an der FH Trier gefertigt. Dabei werden auf Basis der 3D-Geometrie der Bauteile in CATIA V5 fertigungstechnische Informationen wie Werkzeugmaschinentyp, Aufspannung, verwendete Werkzeuge, Vorschübe, Schnittgeschwindigkeiten und Bearbeitungsstrategien vorgeben. Daraufhin kann die Fertigung an der Maschine (Drehen, Fräsen, Wasserstrahlschneiden, Drahterodieren) im CAE-System auf Erreichbarkeit, Kollisionskontrolle und zu erwartender Fertigungszeiten am Rechner simuliert werden, um so spätere Fertigungsfehler zu vermeiden.

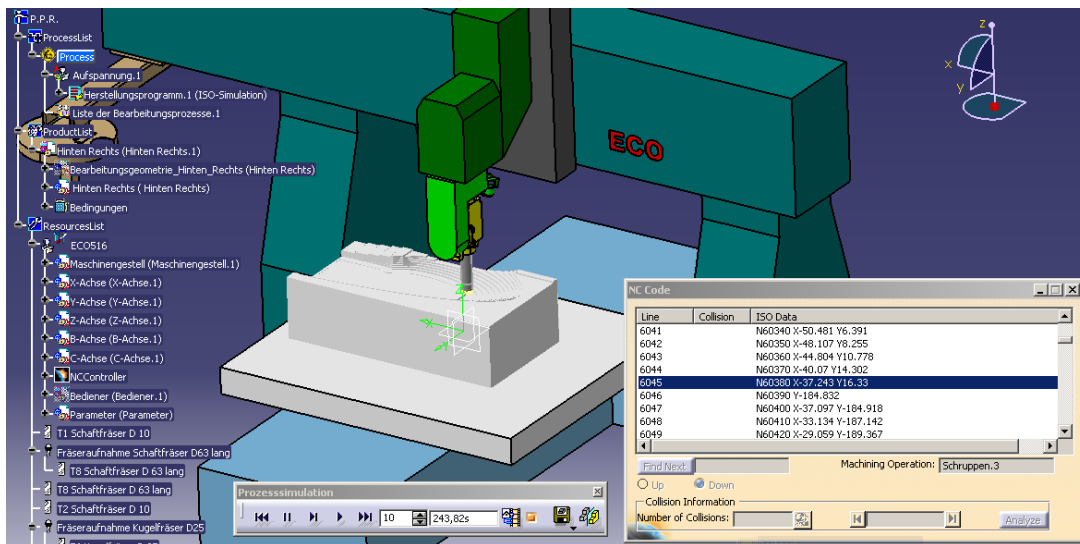


Abbildung 5: Fertigungssimulation in CATIA V5



COMP.CAT

COMPOSITES ENGINEERING
& PROTOTYPING

Konstruktion und Fertigung von Prototypen sowohl aus metallischen Werkstoffen sowie Kunststoffen. CAD/CAM-Verbund mit Nutzung des Maschinenparks der FH Trier. Dienstleistungen rund um den Produktentstehungsprozess.

Kontakt:

comp.cat composites engineering & prototyping ruppert & morbach GbR

Am Schneidershof - 54293 Trier

info@comp-cat.de

0651 - 8103 397