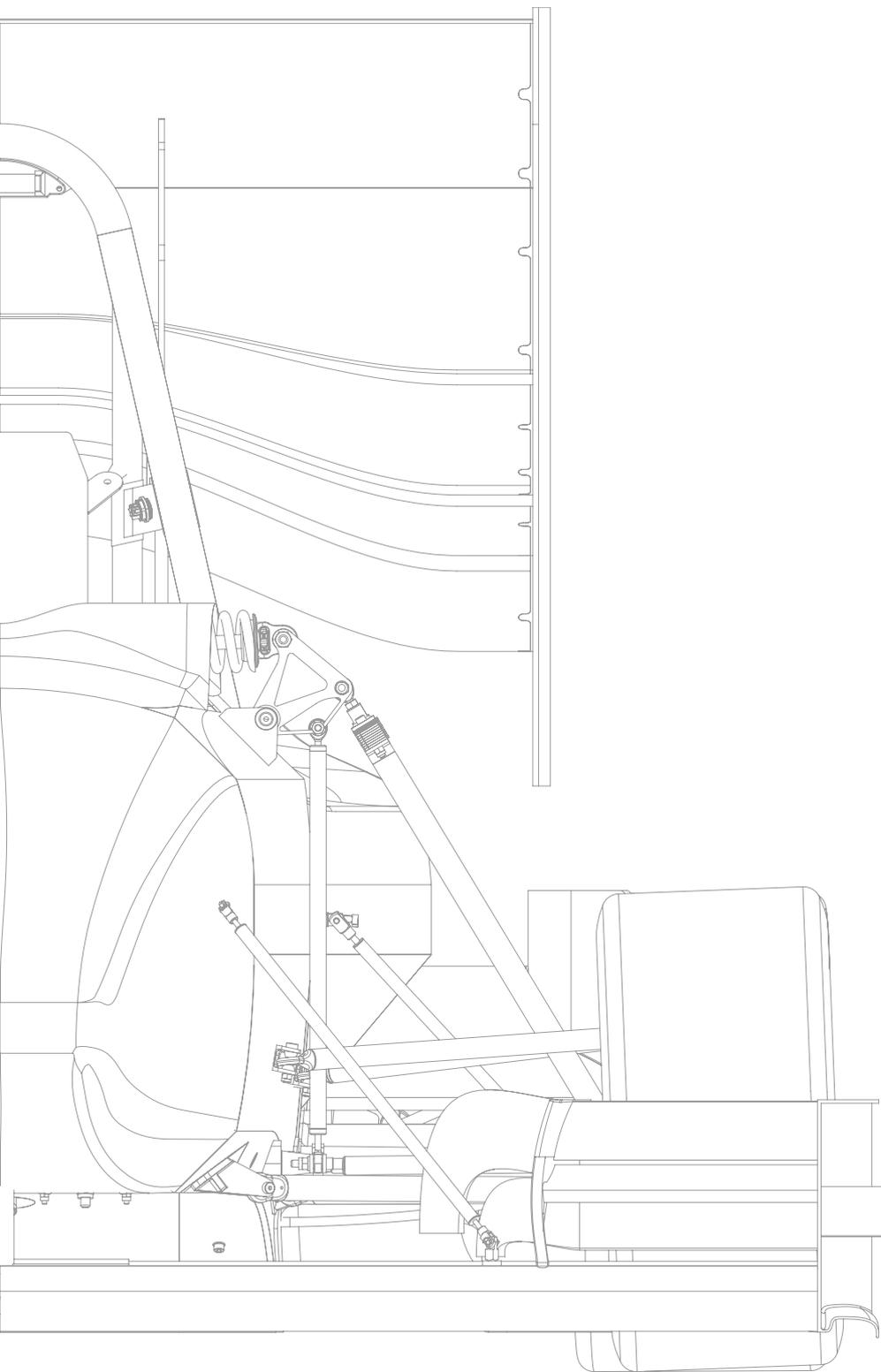


RUB 23 e

PRESSEMITTEILUNG



RUB
MOTORSPORT

/// Nach zehn Monaten Konstruktions- und Fertigungsphase stellt RUB Motorsport den RUB23e vor. 35 hochmotivierte Studenten haben das 13. Auto der Vereinsgeschichte entstehen lassen, mit dem das Team 2023 an den Wettbewerben der Formula Student teilnimmt.

In diesem Dokument werden das Konzept und die Auslegung des Autos aus technischer Sicht erläutert. Zunächst möchten wir uns jedoch bei allen Sponsoren und Unterstützern bedanken, die einen Beitrag zu diesem Projekt geleistet haben. Ohne Ihre Beteiligung wäre die Umsetzung unserer Ideen nicht möglich gewesen.

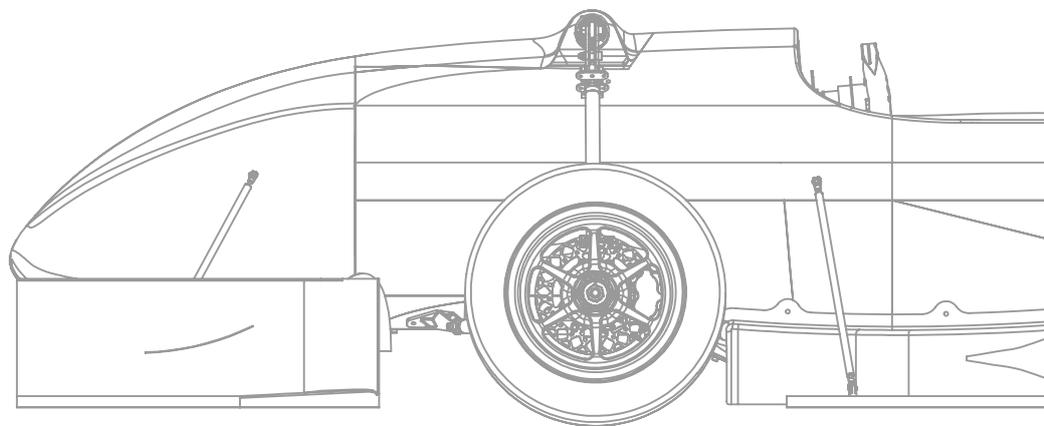
Nachdem sich unser Verein in der vergangenen Saison erstmals an die Elektromobilität gewagt hat, präsentieren wir nun stolz unseren zweiten vollelektrischen Rennwagen, den RUB23e. Das Grundkonzept basiert auf den Erfahrungen der letzten Saison. Unser Ziel war es, in diesem Jahr möglichst wenige größere Änderungen vorzunehmen und stattdessen die Entwicklungszeit in die teilweise noch unausgereiften Systeme des Vorjahres zu investieren. Dadurch konnten wir das Gesamtgewicht unseres Boliden um eindrucksvolle 18 kg reduzieren. Neben der signifikanten Gewichtsreduktion lag der Fokus der Konstruktionsphase vor allem auf der Zuverlässigkeit. Unser Ziel ist es, dass der RUB23e als erstes Elektroauto von RUB Motorsport erfolgreich ein Ausdauerrennen über 22 km absolviert. Dafür wurden die einzelnen Systeme vor dem Einbau umfassend getestet und auf mögliche Fehler überprüft.

Im Folgenden stellen unsere Baugruppenleiter in kurzen Texten die ingenieurtechnischen Überlegungen und Höhepunkte der Entwicklung vor, auf die wir besonders stolz sind. Dazu zählen unter anderem SLM-gedruckte, topologieoptimierte Anbindungspunkte, ein verbessertes Aerodynamikpaket sowie unser selbstentwickeltes Akkumulatormanagementsystem (AMS). Wir hoffen, dass wir Ihnen so einen kleinen Einblick in die Konzeptionierung des Wagens geben können. Abschließend möchte ich mich nochmals im Namen des ganzen Teams für Ihr Interesse und Ihre Unterstützung bedanken.

Viele Grüße aus dem Ruhrgebiet,

Thorben Schmitz

– Technische Leitung RUB23e



Das Chassis dieser Saison ist als Weiterentwicklung des Chassis des RUB22e konzipiert. So wurden zwar die Formen des 22er-Modells wiederverwendet, jedoch nicht ohne eine Reihe von daran vorgenommenen Änderungen. Vor allem im Bereich der Aufhängung mussten Oberflächen begradigt werden, um bessere Befestigungspunkte zu schaffen. Darüber hinaus waren Hauptziele die Steigerung der Fertigungsqualität und die Korrektur von Schwachstellen im Design in einer zeitlich effizienten Weise, um die verfügbare Zeit für Tests und Validierung zu maximieren.

Das Carbon-Monocoque des 23e wurde in Eigenfertigung hergestellt und verfügt erstmalig über eine Außenhaut aus hochfesten Fasern. Die in der Innenhaut verwendeten, auf ultrahochmoduligen Fasern basierenden Lagenaufbauten sind ebenfalls Neuentwicklungen. Der Kern ist dabei ein Aluminiumwabenkern. Die Ultrahochmodul-Fasern schnitten im 3-Punkt-Biegetest zwar außerordentlich gut ab, brachten aber die Herausforderung mit sich, sicherzustellen, dass die Scherfestigkeit der Innenhaut für die zu erwartenden Belastungen ausreichend ist.

Das Design der Feuerschutzwand zwischen Sitz und Batteriecontainer (*Firewall*) wurde modifiziert, um die Sicherheit des Fahrers zu erhöhen und die Fertigung zu vereinfachen. Außerdem kann sie – die Wartung erleichternd – schnell montiert und demontiert werden. Die Firewall besteht aus einem Aluminium-Aramid-Verband mit selbstverlöschender Matrix.

Durch die Integration der Schultergurt-Befestigungsstange in die laminierte Chassisstruktur konnte die Anzahl der durchdringenden Teile reduziert und somit eine bessere Abdichtung erzielt werden. Die Befestigung der Schultergurthalterungen am Chassis stellte eine besondere Anforderung dar, denn im Gegensatz zum Rest der Chassisstruktur ist die Lasteinleitung umgekehrt, da die Innenhaut die Druckbelastung anstelle der stärkeren Außenhaut tragen muss.

Als Aufprallstruktur verfügt der Wagen über eine Anti-Intrusionsplatte aus Kohlefaser. Nach einer Simulation wurden drei verschiedene Konstruktionen mit unterschiedlicher Festigkeit getestet, um das optimale Verhältnis zwischen Gewicht und Leistung zu finden. Für den Aufpralldämpfer fiel die Wahl auf den Standard-Aluminiumwabenkern, da er sich als zuverlässige und leichte Lösung erwiesen hat.

Um die Validität der für den RUB23e erstellten virtuellen aerodynamischen Simulationen überprüfen zu können, wurden zu Beginn der Saison 2022/2023 Testfahrten mit Altfahrzeugen des Vereins angesetzt. Sie konnten dabei helfen, Erkenntnisse aus einer erstmalig simulierten Kurvenfahrt in die Konstruktion eines neuen Unterbodens einfließen zu lassen. Nachdem eine frühe Version unter Strömungsabriss litt, gelang es, in der Kurvensimulation die Ablösung zu reproduzieren und basierend auf den Ergebnissen ein völlig neues Konzept zu entwickeln. Bei gleicher Geschwindigkeit ist der Abtrieb im Vergleich zum vorjährigen Aerodynamikpaket um 33% gestiegen.

Da der Unterboden jedoch größer und höher am Chassis angebracht ist, musste das Kühlkonzept für die Batterien überdacht werden. Zusätzlich zur bereits implementierten aktiven Luftkühlung verfügt der RUB23e über NACA-Einlässe in den Hauptelementen des Unterbodens. Damit wird ein adäquater Frischluftfluss in den hinteren Teil des Autos sichergestellt. Der Kanal selbst befindet sich direkt über der Fußplatte des Bauteils und ist nach oben gerichtet, um zu verhindern, dass Wasser und unerwünschte Ablagerungen in das System gelangen.

Am initialen Konzept für den Frontflügel waren zunächst die gleichen Ablösungsprobleme messbar wie am Unterboden. Um dem entgegenzuwirken, wurde das Hauptelement in zwei Elemente aufgeteilt. Der Luftabriss wird so verhindert und die Abtriebswerte des Fahrzeugs liegen 4% höher als zuvor. Die Halterung des Frontflügels besteht aus einem aerodynamisch angepassten Kohlefaserelement in der Mitte als Hauptträger und zwei unterstützenden Carbonstreben an der Seite.

Am Heckflügel wurde ein viertes Element auf der Oberseite hinzugefügt, um den C_l -Wert anzuheben und somit den Druckpunkt näher an den Schwerpunkt zu bringen. Das Befestigungskonzept ist topologisch optimiert und besteht aus zwei Aluminium-7075-Schwanenhalshalterungen mit drei zusätzlichen Carbonstangen. Das Gesamtgewicht aller Teile der Heckflügelbefestigung beträgt lediglich 466 g.

Die enorme Steigerung der reinen Anpressdruckwerte durch die größeren Bauteile musste jedoch gegen damit einhergehende Gewichtserhöhungen abgewogen werden. Deshalb kommt eine leichtere Lagenstruktur bestehend aus einer Lage *Spread-Tow*-Gewebe mit 80g/m² und einer darunterliegenden, unidirektionalen Lage mit 50g/m² zum Einsatz.

Nach Abschluss der Fertigung kann das Aero-Paket des RUB23e als das Fortschrittlichste bezeichnet werden, das RUB Motorsport je produziert hat. Bei mehr Abtrieb wiegt es nur etwa 11,3 kg (2,6 kg Frontflügel; 4,1 kg Unterboden und 4,6 kg Hinterflügel).

Eigenes Batteriemanagementsystem (BMS): Durch die Entwicklung eines eigenen Batteriemanagementsystems, auch Akkumulatormanagementsystem (AMS) genannt, wurde die Energieeffizienz maximiert und das auf minimalem Bauraum. Dadurch kann die Leistung des Fahrzeugs optimiert und gleichzeitig die Sicherheit gewährleistet werden. Der Kern des letztjährigen BMS wurde übernommen, aufgrund signifikanter Verbesserungen arbeitet der Code des Systems jedoch nun effizienter und zuverlässiger als zuvor.

Verbesserte Fertigungsqualität der Platinen: Um Fehleranfälligkeit zu minimieren und Präzision zu maximieren, setzt die Fertigungsqualität der Platinen in diesem Jahr neue interne Maßstäbe. Dank modernster Herstellungstechniken erfüllt jede einzelne Platine höchste Standards und funktioniert zuverlässig. Alle Leiterplatten (PCBs) sind Eigenentwicklungen aus einer Kombination halbautomatischer Bestückung und des Wiederaufschmelzverfahrens (*Reflow-Löten*). Durch die Bestückung der Leiterplatten unter kontrollierten Bedingungen, lassen sich optimale Lötverbindungen erreichen. Zusätzlich wird dabei im Vergleich zu manuellem Löten wertvolle Zeit eingespart.

Dualer CAN-Bus: Das Bordnetz des Autos verfügt über zwei CAN-Busse: Einer wird zur Übertragung wichtiger Regelungsdaten genutzt, während der andere weniger kritische Telemetriedaten übermittelt. Diese innovative Lösung ermöglicht eine effiziente Datenkommunikation und trägt zu einer präzisen Leistungsregelung bei.

Das Niederspannungssystem wird von einem innerhalb des Batteriecontainers verbauten 24V-Gleichspannungswandler angetrieben. Die meisten der im Fahrzeug eingesetzten LV-Mikrocontroller werden von leistungsstarken ARM-basierten Chips gesteuert.

In die Armatur des diesjährigen Autos ist ein kompaktes Fünf-Zoll-Display integriert. Es zeigt dem Fahrer die wichtigsten Leistungsparameter des Wagens an. Zudem erfasst und speichert das Display umfangreiche Fahrzeugdaten, einschließlich der Batterieinformationen. Mithilfe des eingebauten GPS können diese Daten übertragen, analysiert und anhand von Streckenprofilen ausgewertet werden. Eine solche Analyse liefert wertvolle Erkenntnisse über die Leistung des Autos auf verschiedenen Strecken und ermöglicht es, gezielte Verbesserungen vorzunehmen.

/// BATTERIE & ANTRIEBSSTRANG

Eine Anforderung an den diesjährigen Antriebsstrang besteht darin, simpel genug konzipiert zu sein, um die Entwicklungszeit auf Verbesserungen des Batteriecontainers (TSAC), der Segmente und der Positionierung aller Elektronikkomponenten fokussieren zu können. Aus diesem Grund wurden, wie in der Vorsaison, Motor und Wechselrichter in einer Einzel-Heckmotor-Konfiguration erworben.

Das Fahrzeug ist mit dem EMRAX 228 ausgestattet, einem bürstenlosen Elektromotor mit 109 kW, 230 Nm und einer Außenläuferspule. Dadurch liefert er hohes Drehmoment bei vergleichsweise niedrigen Drehzahlen, was den Einsatz eines Getriebes überflüssig macht, da ein einfacher Kettentrieb zum Differential als Untersetzungsgetriebe ausreichend ist. Motor und Differential sind durch topologieoptimierte Halterungen im Chassis befestigt, wobei zur Gewichtseinsparung teilweise Magnesium verwendet wird.

Das angetriebene Ritzel ist über eine speziell angefertigte Titan-Motorwelle mit dem Elektromotor verbunden. Der Kettentrieb treibt ein *limited-slip differential* an, die Antriebswellen verwenden ein Gleichlauf-Tripodensystem und sind ebenfalls aus Titan hergestellt.

Die Aluminiumbleche des TSAC sind durch Laserschweißen verbunden, um ein Verziehen des Containers zu verhindern. Die Batterie besteht aus 264 Pouchzellen in einer 132s2p-Konfiguration (2 mal 132 Zellen in Serie), die über ihre Anschlüsse gekühlt werden (*tab-cooling*).

Alle zwölf Segmente werden mit 3D-gedruckten Haltern in den TSAC eingebaut und durch feuerfesten Schaum komprimiert, um das Ausdehnen der Zellen während der Ladezyklen zu kompensieren. Um die Lastübertragung zu verbessern, sind die Zellen zusätzlich mit doppelseitigem Polyimidband verbunden. Kühlung der Zellen wird durch vier an der Rückseite des TSAC angebrachte 60-mm-Lüfter erreicht, die Luft durch die gesamte Länge des Containers ziehen. Kleine Kühlkörper, die mit den Zellanschlüssen verbunden sind, leiten die Wärme von jeder Zelle in diesen Luftstrom ab, während kühle Frischluft durch neuentwickelte NACA-Kanäle im Unterboden bereitgestellt wird. Sowohl der Wechselrichter als auch der Elektromotor sind durch zwei Radiatoren wassergekühlt. Um ausreichende Kühlung im Stand zu gewährleisten, besitzt jeder Kühler einen Drohnenmotor, der mit einem 127-mm-Propeller versehen ist.

Die Entwicklung der Aufhängung, Pedalerie und des Lenksystems für den RUB23e stand im Zeichen der Gewichtseinsparung. Der verstärkte Einsatz von Werkstoffen wie Titan in den Radträgern oder Magnesium für das Gaspedal tragen zu einer drastischen Reduzierung des Gesamtgewichts und somit verbesserter Fahrdynamik bei.

Darüber hinaus mussten Teile für moderne Fertigungsverfahren angepasst werden. Die Aluminium-Anbindungspunkte des hinteren Dämpfers sind topologieoptimiert und additiv, mit dem selektiven Laserschmelz-Verfahren (*SLM*), gefertigt. Sie sparen im Vergleich zu konventionellen, CNC-gefrästen Teilen fast 440 g am gesamten Auto.

Für die Herstellung der *Triangles* (radträgerseitige Querlenkerlagerhalterung) wurde vollständig auf den Einsatz von 25CrMo4-Stahl verzichtet, zugunsten der Aluminiumlegierung EN AW-6082. Wenngleich die geringere Steifigkeit des Materials in dickeren Bauteilen resultiert, bedeutet seine ebenso geringere Dichte trotzdem eine Gewichtsersparnis.

Mit dem Ziel, eine kürzere Fertigungszeit zu erreichen, wurden die Einsätze für die Carbon-Rohre in diesem Jahr direkt mit den *Triangles* laserschweißt und nicht wie zuvor fünf-Achs-gefräst. Durch das Laserschweißen wird die Wärmeeinflusszone und der Verzug des Materials erheblich reduziert. Um die maximale Festigkeit der Legierung nach dem Schweißen wieder zu erreichen, wurden die fertigen Teile getempert, damit sie zu einem T6-Zustand zurückkehren. Ein Zugfestigkeitstest an einem Werkstück ergab 97 % der ursprünglichen Zugfestigkeit.

Das Lenksystem des RUB23e ist eine vollständige Neuentwicklung. Durch die direkte Verschraubung der Zahnstange mit der Gleitschiene wird das Spiel in axialer Richtung minimiert, da die Konstruktion nicht nur form- sondern auch kraftschlüssig ist. Die Lenksäule ist mit einem neuen Gehäuse und zusätzlichen Verstrebungen am Monocoque stabilisiert, um die gesamte Baugruppe zu verstärken. Mit der neuen Konstruktion ist das Spiel so auf 1,5° gesunken.

Obwohl das Team in dieser Saison zu keiner Driverless-Disziplin antritt, sieht der interne Plan vor, den RUB23e nach Abschluss aller Veranstaltungen mit Driverless-Funktionen auszustatten. Da autonomes Fahren ein neues Kapitel in der Geschichte von RUB Motorsport ist, liegt das Hauptaugenmerk auf der Software-Evaluierung und Datenerfassung, insbesondere in Kombination mit dem aktuellen Rennwagen.

Um die Auswertung und die Entwicklung im Allgemeinen zu beschleunigen, wird derzeit ein robustes Logging für die Gesamtheit der geplanten Fahrzeugsensoren entwickelt. Mit einer umfangreichen Bibliothek verschiedener Fahrten und der Hilfe einiger grundlegender Simulationen ist es möglich, unterschiedliche Ansätze für verschiedene Systemkomponenten unter Aspekten wie Genauigkeit und Echtzeitfähigkeit bei realistischen Bedingungen zu bewerten.

Zur Hütchenerkennung kommen Stereo-Vision und Laser-Umgebungsscanning in Form von zwei Kameras bzw. einem LiDAR zum Einsatz. Beide werden so montiert, dass sie hauptsächlich in Fahrtrichtung zeigen. Die Odometrie des Wagens wird sich aus verschiedenen Sensoren wie Gyroskopen, Beschleunigungssensoren, elektronischen Kompassen, einem Bodengeschwindigkeitssensor, den Raddrehzahlsensoren des Fahrzeugs sowie einigen GPS-Systemen zusammensetzen.

Das derzeitige Konzept sieht vor, mehrere Pipelines für die Hütchenerkennung zu verwenden. Jede Pipeline erzeugt eine Liste möglicher Erkennungen, die jeweils mit einem Wahrscheinlichkeitswert versehen sind. Nach einem Durchlauf werden alle möglichen Erkennungen im Hinblick auf ihre individuelle Wahrscheinlichkeit kombiniert. Eine erhöhte Genauigkeit sowie verbesserte Fehlertoleranz sind Vorteile dieses Verfahrens. Die Odometrie wird auf ähnliche Weise geplant, wobei Redundanz und Plausibilitätsprüfungen der Positionierung ein zentraler Aspekt des endgültigen Designs sein werden. GPS ist jedoch als Backup vorgesehen, da die Hauptfahrzeugposition von der *Simultaneous Localisation And Mapping*-, kurz SLAM-Instanz stammen wird.

/// TECHNISCHE SPEZIFIKATIONEN

ABMESSUNGEN

Länge	2.925 mm
Breite	1.508 mm
Höhe	1.155 mm
Radstand	1.155 mm
Spur vorne	1.400 mm
Spur hinten	1.370 mm

BASISDATEN

Gewicht	< 200 kg
Beschleunigung	0 – 100 km/h: 3,6 s
Querbeschleunigung	2,0 g
Höchstgeschwindigkeit	120 km/h (begrenzt durch Endübersetzung)

CHASSIS

Monocoque	Vollständig aus Kohlefasern in Sandwichbauweise
Kern	Aluminiumwabe
Aufprallstruktur	CFK, Crash-getestet
Gurtanbindung	CFK, integriert in Struktur, Anbindung auf Schulterhöhe
Cockpit	Ergonomisch angepasst
Sitz	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
Firewall	Aramid

BATTERIE UND ELEKTRONIK

Batterie	Vollständig selbstentwickelt
Maximalspannung	554,4 V
Zellen	264 Pouchzellen
Segmente	12
Verschaltung	132s2p
Kapazität	7,36 kWh
Stromrichter	UNITEK BAMOCAR D3
CAN-Bus	Zwei 1-Mbit-CAN-Busse mit Eigendiagnosefunktion
AMS	Vollständig selbstentwickelt
Steuergeräte	Vollständig selbstentwickelt
Kabelbaum	CAD-optimiert
Fahrerassistenzsysteme	5-Zoll-Farbdisplay mit Datenloggerfunktion, Traktionskontrolle

ANTRIEBSSTRANG

Motor	EMRAX 228 MV LQ
Leistung maximal	124 kW (168,6 PS)
Leistung Rennwoche	80 kW (109 PS)
Drehmoment maximal	230 Nm (am Motor)
RPM Maximal [1/min]	5.500
Nominalspannung Motor	3 Phasen, 500 Volt Gleichspannung
Differential	Lamellensperrdifferential
Kettentrieb	Selbstentwickelt
Anbringung	Topologieoptimiert, aus Magnesium und Aluminium
Antriebswelle	Titan
Motorwelle	Titan

FAHRWERK

Reifen	Hoosier
Felgen	OZ, 10 Zoll, Magnesium, Center Lock
Aufhängung	Doppelquerlenkerachsen aus Kohlefaser, Schubstreben
Bremsen	4 Kolben vorne, 2 Kolben hinten, schwimmend gelagerte Bremsscheiben, lasergeschnittene Bremsscheiben aus 42CrMo4 kein ABS
Radnaben	Aluminium, CNC-gefräst
Radträger	Aluminium, CNC-gefräst
Dämpfer	KW, dreifach verstellbar

AERODYNAMIK

Material	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
Frontflügel	Strömungs- und strukturoptimiert, Aramidkern
Heckflügel	Vierteilig, Aramidkern
Unterboden	Mehrteilig, NACA-Einlässe, Aramidkern
Befestigung vorne	Carbonmittelstück, zwei Carbonstreben außen
Befestigung hinten	Aluminium-Schwanenhalshalterung, topologieoptimiert
Abtrieb	606 N bei 50 km/h
C_l/C_w	3,31

/// RUB Motorsport e. V.

Universitätsstraße 150
44801 Bochum
Gebäude IBN, Raum 01/67

motorsport@rub.de
+49 (0) 234 322 852 6