
Audi R8 e-tron

Der Audi R8 e-tron bringt 1.780 Kilogramm auf die Waage. Seine Karosseriestruktur wiegt inklusive der Seitenteile nur 199 Kilogramm, 23 Kilogramm weniger als beim R8 Coupé, das in der ASF-Bauweise (Audi Space Frame) aus Aluminium bereits hohe Maßstäbe setzt. Audi präsentiert hier einen neuen Entwicklungsschritt seiner ultra-Leichtbautechnologie – einen Multimaterial Space Frame, bei dem große Teile aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) das Aluminiumgerüst ergänzen.

Die CFK-Umfänge machen 23 Prozent und die Metallteile 75 Prozent des Gewichts der Rohkarosserie aus, der Rest entfällt auf sonstige Materialien. Beim Vorderwagen des R8 e-tron handelt es sich um eine klassische Aluminiumkonstruktion. In der Fahrgastzelle dominiert CFK und im Heck ein Mix aus beiden Werkstoffen. Die mittragende Gepäckraumwanne aus CFK integriert wellenförmige Crashstrukturen – mit ihnen kann das Heckmodul fünfmal mehr Energie absorbieren als ein Aluminiumfachwerk. Bei den B-Säulen und der Rückwand senkt ein neues Sandwich-Konzept das Gewicht um 11,5 Kilogramm.

In der Außenhaut, die fast ganz aus CFK besteht, ist ebenfalls jedes Teil speziell auf seinen Einsatzort und -zweck ausgelegt. In der Fronthaube etwa liegen in einigen Bereichen sieben Lagen Kohlenstofffasermatten übereinander. Bei den Innenschalen der hinteren Seitenteile hingegen genügen zwei Lagen, die ein Vliesmaterial einschließen.

Auch die Lithium-Ionen-Batterie spiegelt die Entwicklungskompetenz von Audi wider – sie wurde im eigenen Haus konzipiert und produziert. An 40 Punkten mit der Struktur verschraubt, fungiert sie als mittragendes Element, das die Steifigkeit des Multimaterial Space Frame mehr als verdoppelt. Die Batterie integriert 530 prismatische Flachzellen. In der Form eines T aufgebaut, ist der Akku 235 Zentimeter lang, 135 Zentimeter breit und, samt Steuergerät, 71 Zentimeter hoch. Im Tunnelbereich liegen zwei „floors“ mit Zellmodulen übereinander, im Heckbereich sind es vier.

Zwölf Millimeter starke Platten aus hochfesten Aluminiumlegierungen, trennen die „floors“ voneinander, zugleich bilden sie die tragende Struktur der Batterie.

In eingefrästen schmalen Kanälen, die mehrere 100 Meter lang sind, zirkuliert das Kühlmittel. Ein Hydraulikverteiler sorgt für einen präzise berechneten, homogenen Strom, der alle Zellen gleich temperiert.“

Das Batteriemanagementsystem befindet sich zusammen mit Hochvoltschaltern und Leistungssicherungen in der E-Box, die auf der Traktionsbatterie angeordnet ist. Hauptaufgaben des Batteriemanagementsystems sind zum einen, die Sicherheit des Batteriesystems zu überwachen und bei Bedarf entsprechende Maßnahmen zu treffen, um eine Gefährdung zu vermeiden. Zum anderen bestimmt es den Ladezustand sowie die Leistungsfähigkeit der HV-Batterie und übermittelt die Werte an die Antriebssteuergeräte der Elektromotoren. Dazu greift das Batteriemanagementsystem unter anderem auf ein batterieinternes Netzwerk aus Zellelektroniken zurück und erfasst so Spannungen und Temperaturen der Zellen. Sinkt der Ladezustand der Batterie in Richtung der Untergrenze von 15 Prozent SOC (state of charge), reduziert der Controller entsprechend die zulässige, der Batterie entnehmbare elektrische Leistung. Darüber hinaus unterliegen die Funktion und die Sicherheit des Hochvolt-Bordnetzes ständiger Überwachung; im Fall eines Unfalls wird die Batterie deaktiviert.

Beim Laden der Batterie stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Mit 230-Volt-Wechselstrom aus dem Haushaltsnetz dauert eine Vollladung etwa zwölf Stunden. Beim Laden mit Gleichstrom sinkt der Zeitbedarf je nach Anschlussleistung auf weniger als eine Stunde. Per Smartphone-App kann der Fahrer viele Funktionen und Informationen, darunter den Ladezustand, die Innenraumheizung und die Reichweitenanzeige, aus der Ferne steuern und überwachen. Ein maßgeschneiderter Service von Audi connect, der sich ganz ähnlich in Autos wie dem A3 Sportback e-tron wiederfindet.

Per Rekuperation wird die Batterie auch unterwegs in den Verzögerungsphasen nachgeladen. Der Fahrer wählt den Grad der Energierückgewinnung in drei Stufen (plus Freilauf) über Wippen am Lenkrad. Beim Bremsen ist er besonders hoch, weil die E-Maschinen in der Regel bis etwa 0,3 g die Verzögerung allein übernehmen. Danach kommt die Vorderachs-Bremsanlage schrittweise ins Spiel, die Elektromotoren können noch bis 0,45 g rekuperieren. Die neu entwickelte elektrische Einzelrad-Antriebsschlupfregelung (eASR) sorgt beim Bremsen für exzellente Stabilität und beim Gasgeben für souveräne Traktion.

Die beiden E-Maschinen an der Hinterachse des Audi R8 e-tron erlauben ein elektrisches Torque Vectoring – das gezielte Abbremsen und Beschleunigen einzelner Räder, mit dem sich die Momente bei schneller Kurvenfahrt bedarfsgerecht verteilen lassen. Es erfolgt dank der separaten Ansteuerung der E-Maschinen und ihres spontanen Ansprechverhaltens hochvariabel und schnell; theoretisch kann der Hochleistungssportwagen ein Rad abbremsen und das andere mit hohem Moment antreiben.

Mit insgesamt 280 kW und 820 Nm Drehmoment, das praktisch vom Stand an bereit steht,

verleihen die Elektromotoren dem Audi R8 e-tron eindrucksvolle Performance. Sie katapultieren ihn in 4,2 Sekunden von null auf 100 km/h, bei 200 km/h endet der Vortrieb im Begrenzer. Im Prüfstandzyklus genügt eine Batterieladung für über 215 Kilometer Reichweite.

In einem weiten Bereich erzielen die E-Maschinen mehr als 95 Prozent Wirkungsgrad; ohne die Abregelung könnten sie bis 12.500 1/min drehen, was einem Tempo von über 250 km/h entspräche. Als permanent erregte Synchronmaschinen konzipiert, liefern sie eine hohe Leistungs- und Drehmomentdichte und lassen sich auch mit einer geringen Strommenge effizient betreiben. Der Stator wird über einen Wassermantel temperiert, der Rotor zusätzlich mit Luft durchströmt. Die einstufigen Planetengetriebe sind in den Kühlkreislauf eingebunden.

Jede E-Maschine wird von einer eigenen Leistungselektronik versorgt, die ebenfalls temperiert wird. Die Pulswechselrichter, die die Gleichspannung der Batterie in Wechselspannung umwandeln, setzen Meilensteine in puncto Kompaktheit und Leichtbau. Das Steuerungskonzept des Antriebs ist redundant ausgelegt und erfüllt die höchsten Sicherheitsstandards – die Controller der Leistungselektroniken kommunizieren miteinander und mit dem Antriebssteuergerät.

Auch beim Fahrwerk wartet der Audi R8 e-tron mit neuen Lösungen auf. Die Schraubenfedern bestehen aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) und wiegen nur jeweils 1,2 beziehungsweise 1,3 Kilogramm, etwa 40 Prozent weniger als Stahlfedern. Die Radnaben an der Hinterachse sind aus Titan geschmiedet und sparen 0,6 Kilogramm Gewicht. Beim Stabilisator an der Vorderachse bilden gewickelte Lagen aus CFK das Rohr, die Schenkel bestehen aus Aluminium – das Bauteil wiegt nur 2,5 Kilogramm, ein Vorteil von 35 Prozent.

Der Audi R8 e-tron fährt mit rollwiderstandsoptimierten Reifen in den Formaten 225/35 und 275/35. Mithilfe der Fliehkraft verschließen verstellbare Blenden ab etwa 50 km/h die Öffnungen der 19-Zoll-Felgen, bei niedrigem Tempo öffnen sie wieder. Die aktiven Aero-Räder senken den cw-Wert um etwa 0,02.

Bei den Radbremsen an der Hinterachse handelt es sich um elektromechanische Spindelbremsen. Kugelgewindetriebe, die elektrisch betätigt und gesteuert werden (by wire), drücken die Beläge blitzschnell an die Scheiben. An der Vorderachse arbeitet eine hydraulische Bremsanlage, die den benötigten Unterdruck von zwei Vakuumpumpen bezieht. Die Scheiben sind hier aus Kohlefaser-Keramik gefertigt.

Mit einer Gewichtsverteilung von 42 : 58 bietet der R8 e-tron beste Voraussetzungen für

sportliches Handling. Die Batterie ist zwischen den Achsen untergebracht, ihre tiefe Einbaulage senkt den Fahrzeugschwerpunkt ab. Rennfahrer Markus Winkelhock hat im Juni 2012 auf der Nürburgring-Nordschleife mit dem R8 e-tron zwei Bestmarken für Serienfahrzeuge mit Elektroantrieb gesetzt. Mit 8:09,099 min für die schnellste Einzelrunde und 16:56,966 min für zwei Runden hintereinander. Bei der Einzelrunde fuhr er auf Sportreifen und mit 250 km/h Freigabe, bei der Doppelrunde mit Serienreifen und 200 km/h-Begrenzung.

Optisch ähnelt der Audi R8 e-tron dem Audi R8 mit Benzinmotor, doch existieren in der Karosserie nicht mehr als neun Gleichteile. Der cw-Wert des elektrisch angetriebenen Hochleistungssportwagens beträgt 0,27. Der Entfall des Verbrennungsmotors, des Getriebes und der Abgasanlage erlaubt einen glatten Unterboden. In seinem hinteren Bereich leitet ein langer, relativ steil ansteigender Diffusor die Luft so, dass sie mit der Umströmung am Heck harmoniert. Die Abrisskante liegt etwas höher als beim R8, der Spoiler entfällt.

Der elektrisch angetriebene Hochleistungssportwagen hat keine Ölkühler und braucht keine Ansaugluft. Seine seitlichen vorderen Lufteinlässe und die Sideblades sind verschlossen. Nur durch den unteren Bereich des Singleframe-Grills tritt Kühlluft ein. Diese ist für das Thermomanagement erforderlich. Sie strömt in einem Kanal durch den Vorderwagen und tritt durch eine Öffnung auf der Frontklappe wieder aus.

Mit der Multiquellen-Wärmepumpe hat Audi beim Thermomanagement des R8 e-tron eine leistungsfähige Lösung realisiert, von der künftige Serienmodelle stark profitieren werden. Die hochkomplexe Anlage hält alle wichtigen Antriebskomponenten – die Batterie, die E-Maschinen, die Getriebe und die Leistungselektroniken – auf dem idealen Temperaturniveau. Mit der Wärme, die sie aufnimmt wird der Innenraum klimatisiert. Durch den effizienten Umgang mit der elektrischen Energie wächst die Reichweite um bis zu 20 Prozent.

Die Wärmepumpe basiert auf dem Prinzip des klassischen Kältekreislaufs. Als neue Bauteile integriert sie Chiller (Bauteile für Wärmeaustausch zwischen zwei Flüssigkeiten), den Frontkondensator/Verdampfer, elektrisch geregelte Expansionsventile und ein zusätzliches Heizregister im Klimagerät. Ein von Audi entwickelter Wärmekoordinator regelt die Zusammenarbeit der Teil-Systeme; je nach Situation wählt er die Beste unter 43 Varianten aus. Die Wärmepumpe im R8 e-tron die auch im Stand arbeitet, erwärmt den Innenraum schneller als eine herkömmliche Heizung oder Klimaanlage. Mit einem kW elektrischer Leistung kann sie bis zu drei kW Heizleistung bereitstellen.

Wenn die Anlage als sogenannte Luftwärmepumpe arbeitet, nutzt sie die Umgebungsluft

als Wärmequelle. Der Wärmetransfer an den Kältekreislauf geschieht über den Frontkondensator, der hier als Verdampfer fungiert. Bei tiefen Außentemperaturen nutzt die Wärmepumpe die Abwärme der E-Maschinen und der Hochvolt-Batterie über spezielle Verdampfer, die Chiller, die zugleich die Aggregate kühlen. Das Heizregister erwärmt den Innenraum in den meisten Fällen durch die im Kältemittel gespeicherte Wärmeenergie mittels Kondensation und Wärmeübergang an die angesaugte Frischluft. Nur wenn möglichst schnelles Aufheizen gewünscht ist, kommt ein elektrischer PTC-Zuheizer ins Spiel.

Den Innenraum des Audi R8 e-tron prägen feine CFK-Oberflächen, weiches Leder und Alcantara. Die Sportschalensitze haben Chassis aus CFK; jeder von ihnen wiegt nur 17,6 Kilogramm. Im Kombiinstrument informieren LED-Bänder über die Kühlmitteltemperatur und den Ladezustand der Batterie. Das große Powermeter präsentiert das Maß der Leistungsabgabe und der Energierückgewinnung auf einer Skala von null bis 100 in Prozent. Das sieben Zoll große Farbdisplay dient als Fahrerinformationssystem; zusammen mit dem MMI-Monitor zeigt es alle wichtigen Fakten zum elektrischen Fahren an. Zu ihnen zählen der Verbrauch (in kW/h pro 100 km), die gewählte Rekuperationsstufe, die zurückgewonnene Energiemenge und eine animierte Grafik des Energieflusses. Zusätzlich erfolgt die Anzeige der Reichweite graphisch in der Kartendarstellung des Navigationssystems.

Eine weitere Innovation im Audi R8 e-tron ist der digitale Innenspiegel. Ein hochauflösendes Display mit 6,8 Zoll Diagonale, das in der AMOLED-Technologie aufgebaut ist (Active Matrix Organic Light Emitting Diode), ersetzt den Innenspiegel. Eine kleine und sehr leistungsfähige Kamera nimmt das Bild in einem großen Sichtfeld und unter hoher Empfindlichkeit auf. Ein Steuergerät sorgt dafür, dass das Bild stets kontrastreich und brillant auf dem Display dargestellt wird. Das AMOLED-Display, gerade mal sieben Millimeter dünn, ist zehnmal kontrastreicher und um 30 Prozent energieeffizienter als ein LCD-Monitor.

Audi gibt dem R8 e-tron einen synthetischen e-Sound mit, der bis etwa 60 km/h Geschwindigkeit zu hören ist. Ein kleiner Rechner generiert die Frequenzen anhand der Daten, die er vom Antriebssteuergerät erhält, ein robustes Lautsprechersystem am Unterboden strahlt sie auf die Straße ab.

Stand: 5/2013