



Siemens Mobility Eco-Design für Schienenfahrzeuge

Von Stahl über CFK bis Holz - Leichtbau im Drehgestell als ein Enabler und Hebel für Green Mobility



48. Tagung „Moderne Schienenfahrzeuge“, 17.-19. September 2023, Graz, Austria

Michael Kopp, Alexander Prix, Dr. Thomas Moshhammer, Dr. Sebastian Pomberger, Dr. Mathias H. Luxner



THE RETHINKER

Velaro Novo

1 | Herausforderungen/Ziele Entwicklung Velaro Novo

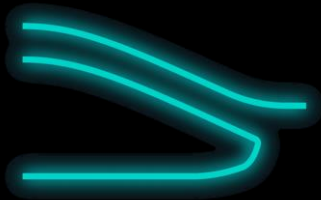


SIEMENS

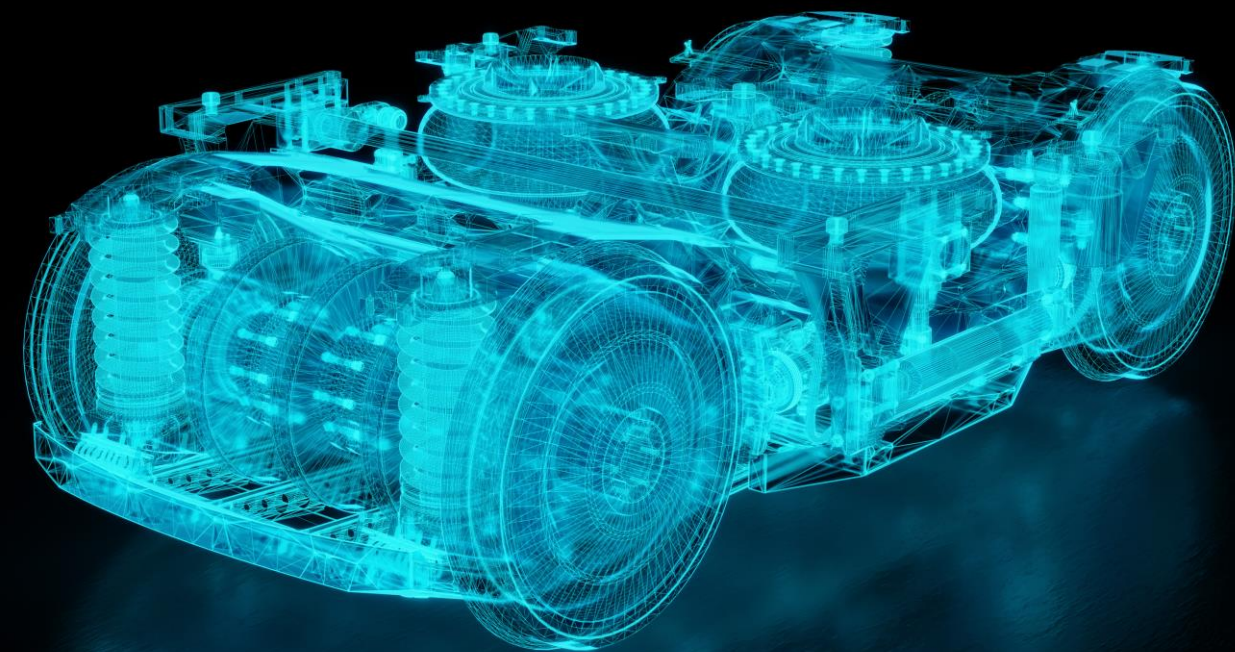
Velaro Novo – Der weltweit wirtschaftlichste Hochgeschwindigkeitszug



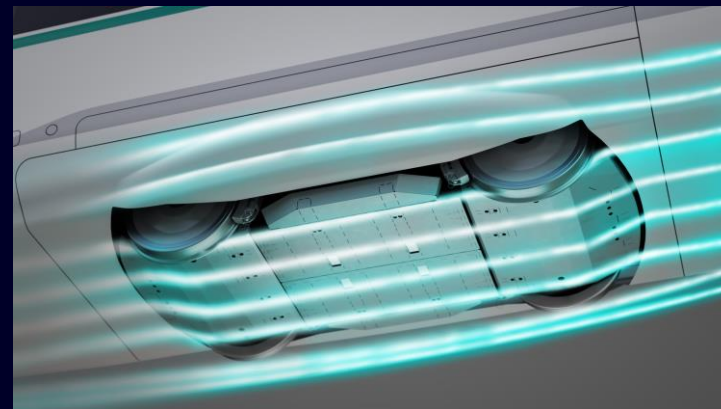
Verglichen mit Velaro Plattform @ 320 km/h



Aerodynamic
excellence



2 | Entwicklung Fahrwerksverkleidung



SIEMENS

Anforderung

Welche Anforderung gibt es an die Fahrwerksverkleidung?



Verbesserung Luftwiderstand



Thermische Belastung,
Brandschutz



Hohe dynamische Belastungen
durch Aerodynamik und Anregung
aus dem Gleis



Schotterflug, Schneeanlagerung



Absicherung

Welche Absicherungsschritte haben wir durchgeführt?



CFD Simulationen, Labortests im Windkanal,
Test am Erprobungsträger



Thermische CFD Simulation,
Brandschutztests, Funktionsprüfstand,
Test am Erprobungsträger

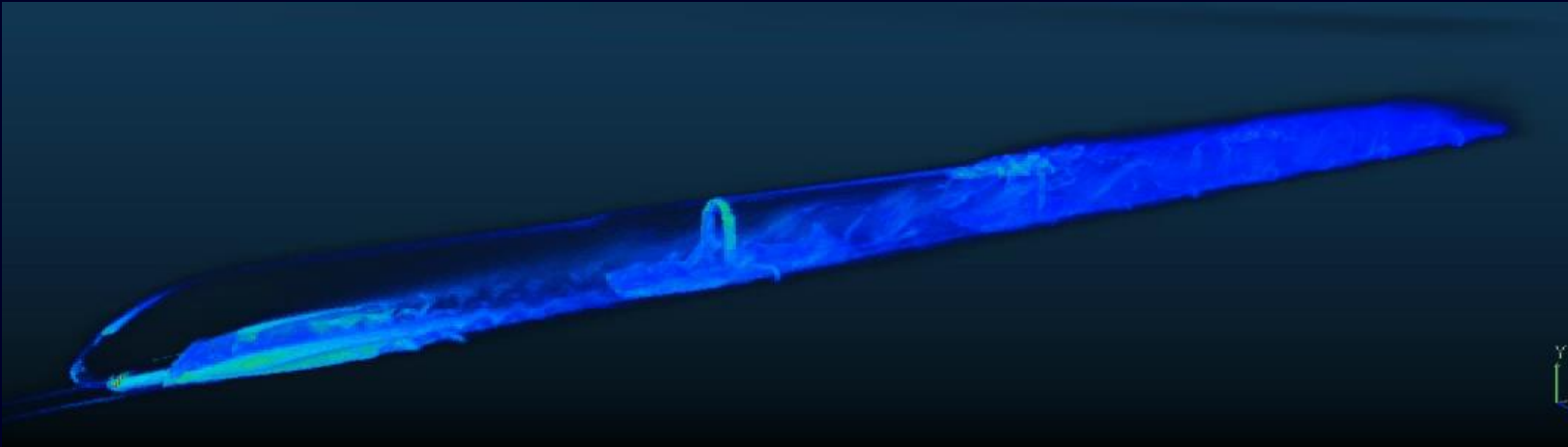


FE-Simulation, Labortests, Test am
Erprobungsträger

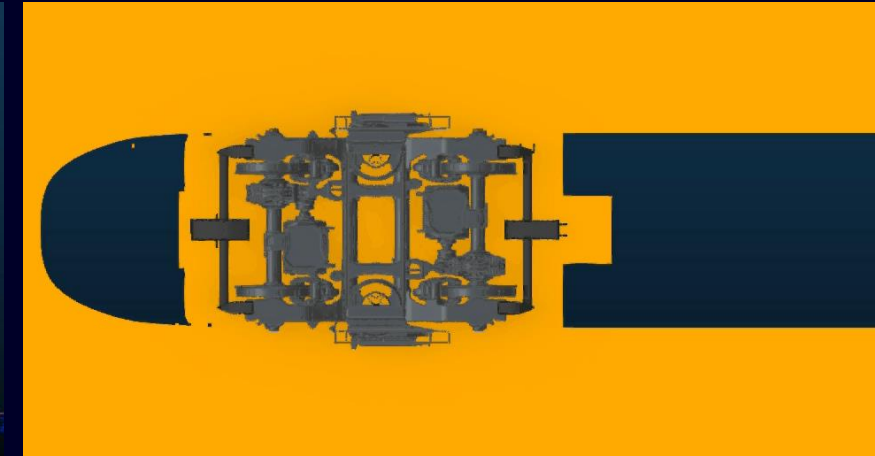


Beschuß-Tests, Wintererprobung im
Erprobungsträger

Die Aerodynamik spielt eine wesentliche Rolle im Hinblick auf den Energieverbrauch und die Antriebsleistung bei Hochgeschwindigkeitszügen



Visualisierung der Strömungsverluste an einem Hochgeschwindigkeitszug



Strömungsverluste an einem Fahrwerk

$$F_x = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot A$$

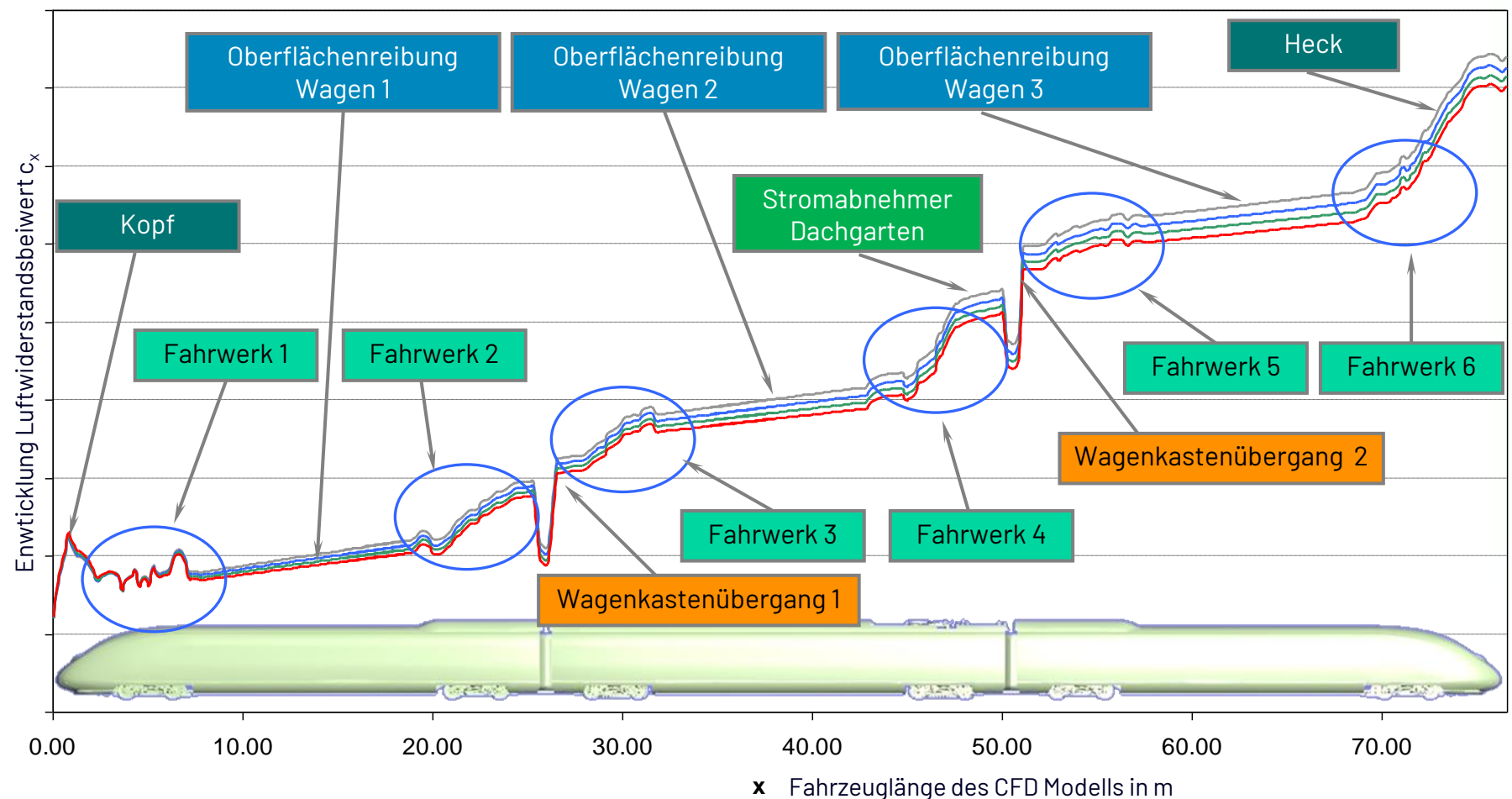
Widerstandskraft
proportional v^2

$$P_{c_x} = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^3 \cdot A$$

Antriebsleistung
proportional v^3

Dank moderner Simulations- und Messverfahren kann der Luftwiderstand im Detail analysiert werden. SIEMENS Mobility hat intensive Untersuchungen zur Bestimmung der Luftwiderstandsanteile mit numerischen Methoden durchgeführt, um die Ursachen für aerodynamische Verluste am Fahrzeug zu identifizieren.

Entwicklung des Luftwiderstandes über die Zuglänge dargestellt anhand eines dreiteiliges Strömungs-Simulationsmodells (CFD)

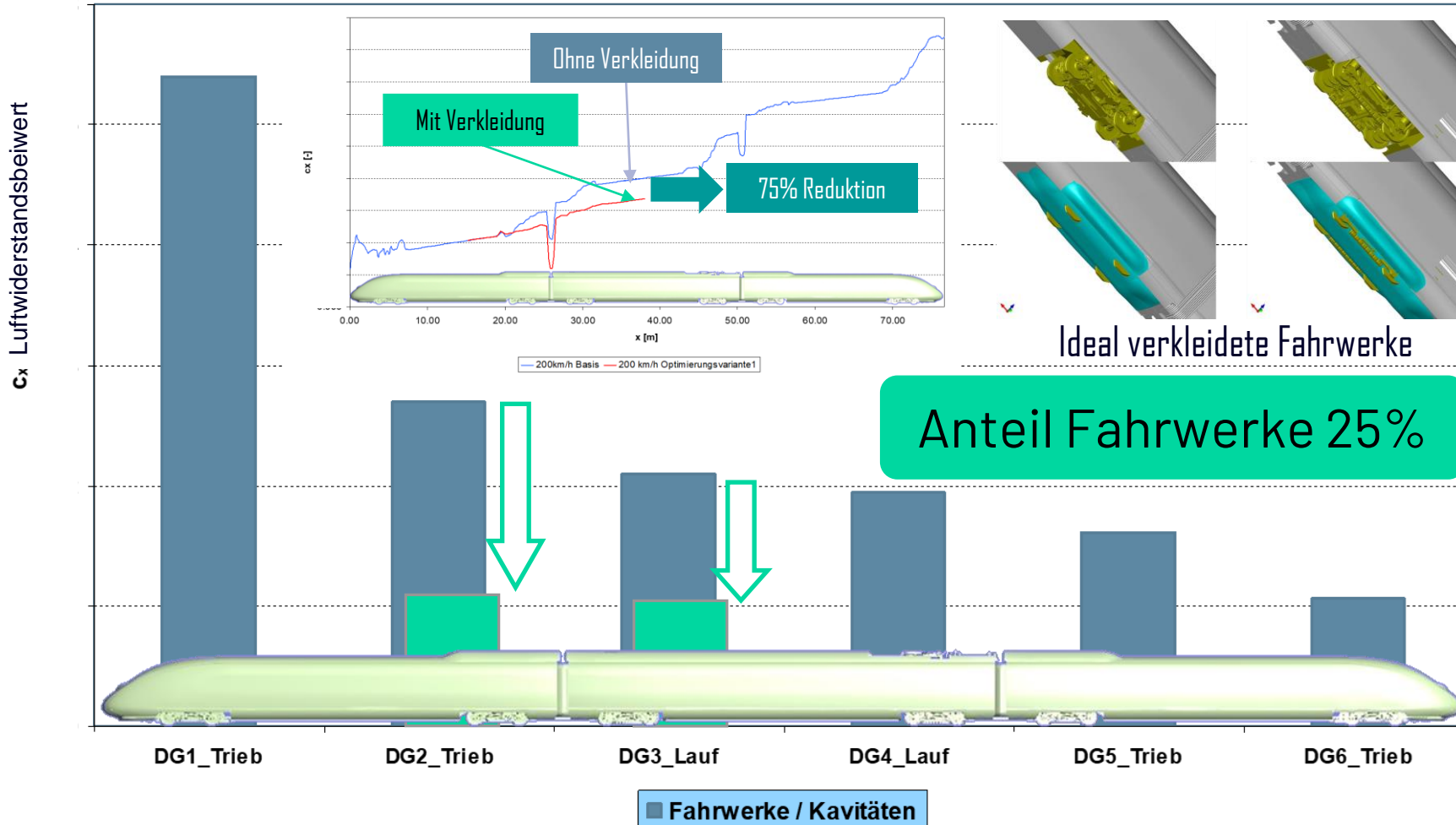


Luftwiderstand Hauptbeiträge

- Kopf- / Heckform
- Fahrwerke
- Wagenkastenübergang
- Bremswiderstände
- Panthograph
- Oberflächenreibung

Die Fahrwerke haben mit ca. 25% einen wesentlichen Anteil am Gesamtluftwiderstand!

Verbesserung des Luftwiderstands durch eine ideale Verkleidungsvariante am Drehgestell hat enormes Potential!



Luftwiderstand

Anteil Fahrwerke 25% über eine Zuglänge von 200 m

Unverkleidet haben die vorderste Fahrwerke den größten Anteil am Luftwiderstand

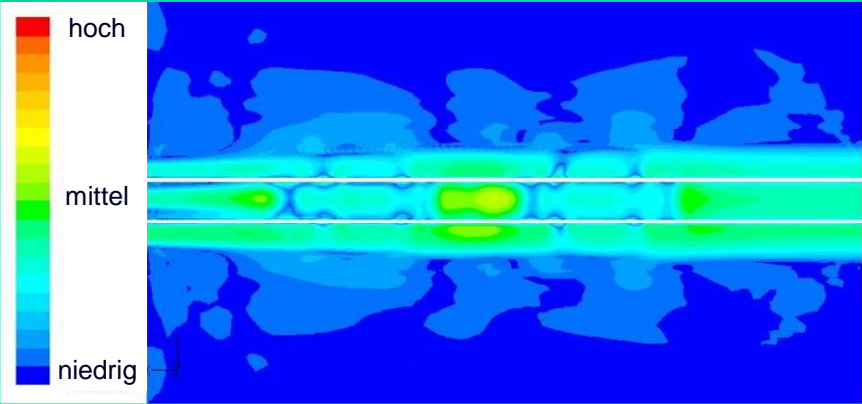
Durch eine Verkleidung der Fahrwerke kommt es zu einer Vergleichmäßigung der Widerstandsanteile der Fahrwerke über die Zuglänge

Eine ideale Fahrwerks-Verkleidung (komplett dicht) weist ein Potential von 75% Reduktion der Fahrwerks-anteile auf.

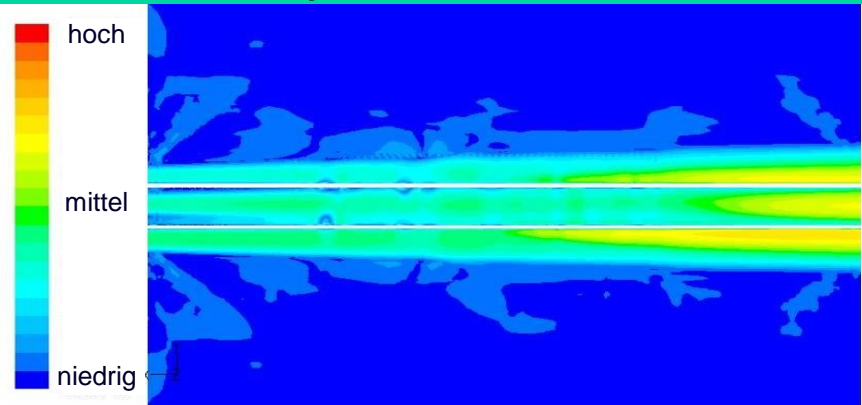
Einfluss Verkleidung des Fahrwerkes auf die Schotterflugneigung/Thermik

Schotterflugneigung

Verkleidung reduziert Schotterflugneigung

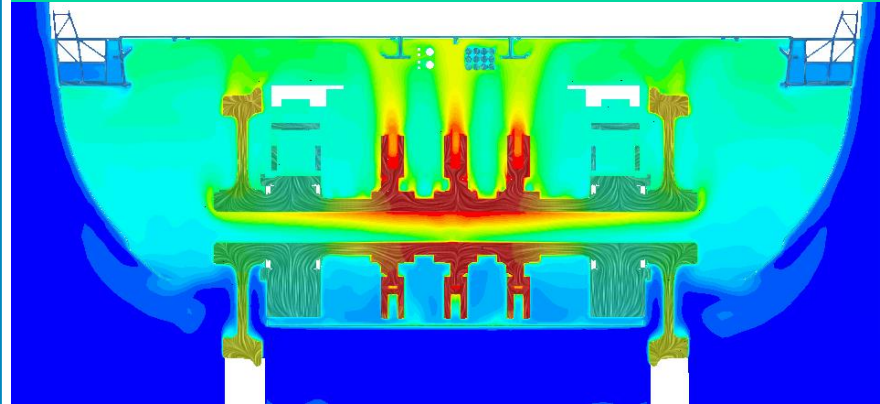


Ohne Verkleidung bauen sich hohe Scherkräfte auf

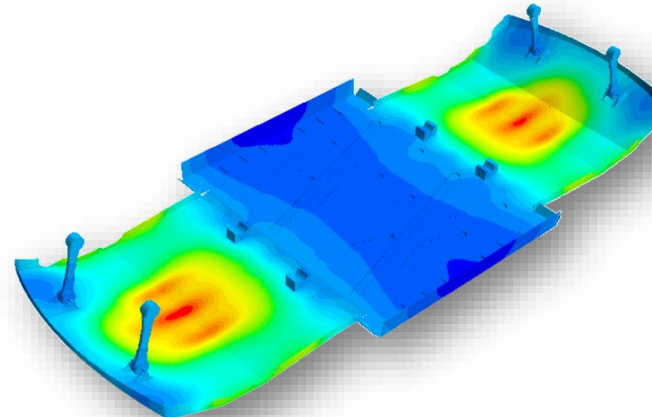


Thermische Belastung

Thermosiphon Effekt bringt heiße Luft nach oben



Hauptbelastung durch Strahlung nach Notbremsung



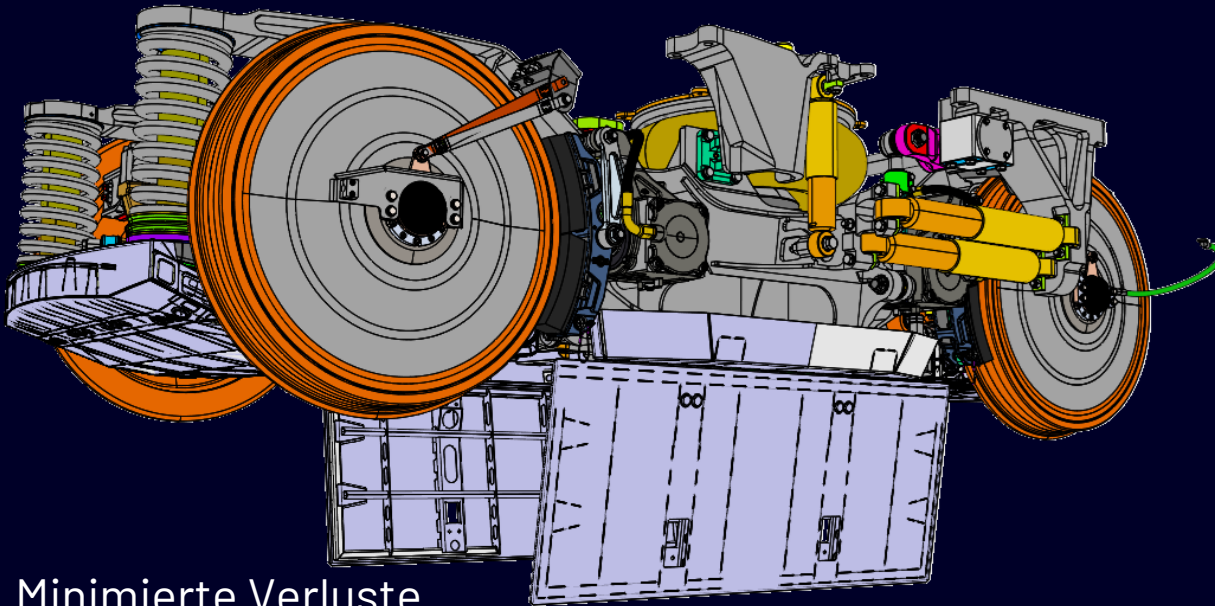
Schotterflugneigung

Durch die Fahrwerksverkleidung herrschen geringere Scherkräfte am Schotterbett und die Schotterflugneigung sinkt dadurch

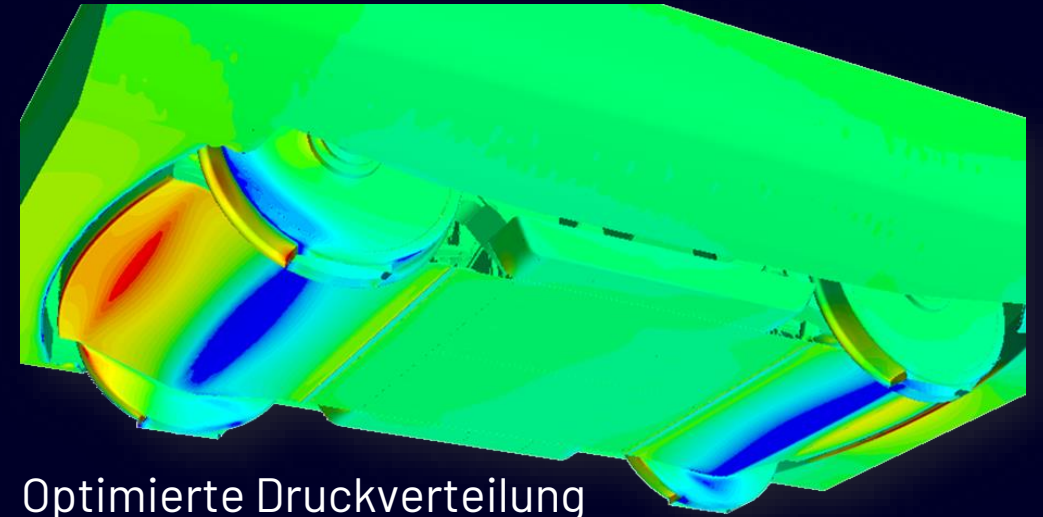
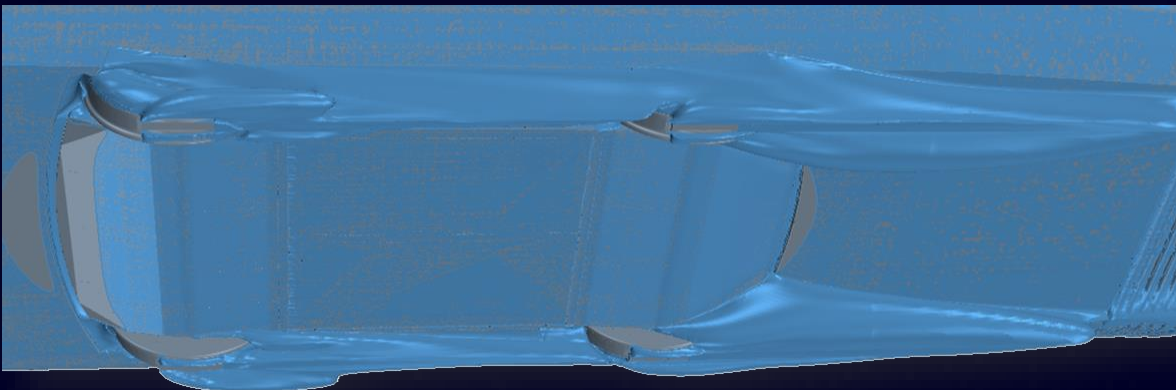
Thermische Belastung

Die thermische Hauptbelastung der Verkleidung tritt durch Strahlung im Stillstand nach einer Notbremsung auf.

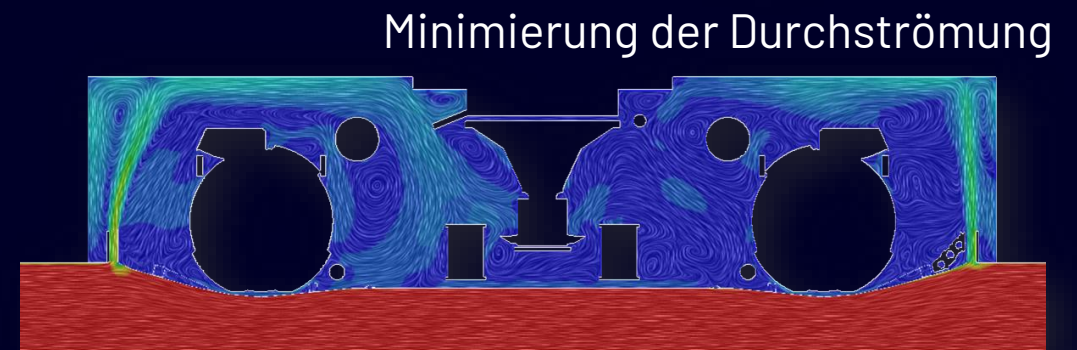
Fahrwerk Velaro Novo inklusive Fahrwerksverkleidungselementen erzeugt eine glatte Strömung am Unterboden und minimiert die Verluste



Minimierte Verluste

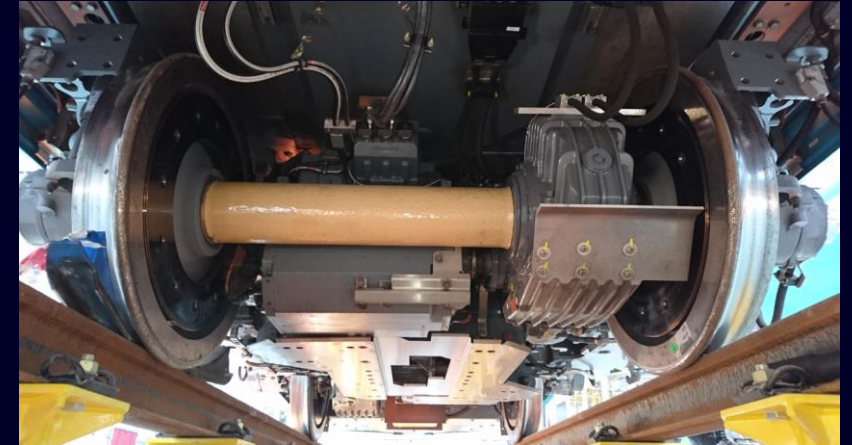


Optimierte Druckverteilung

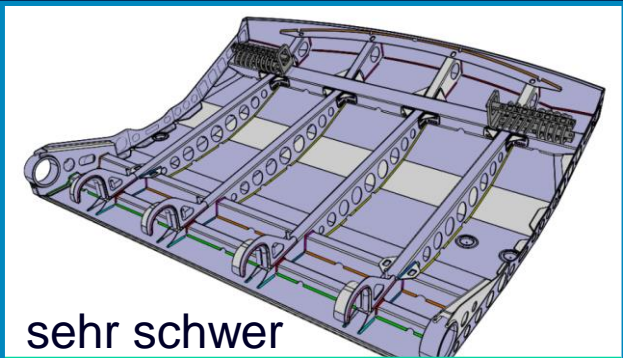


Minimierung der Durchströmung

Aerodynamische Fahrwerksverkleidung



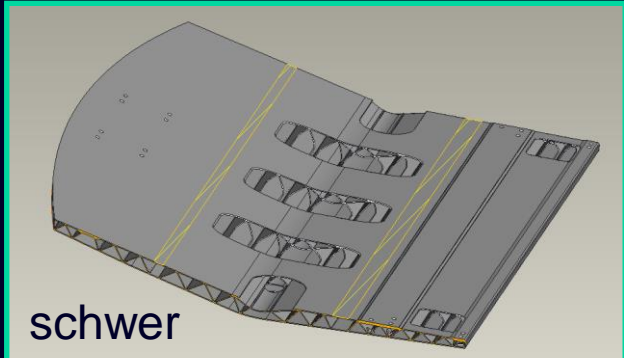
Vor und Nachteile verschiedener Werkstoffvarianten in der Auswahl für die Fahrwerksverkleidung



a) Stahlkonstruktion



b) Faserverbundwerkstoff



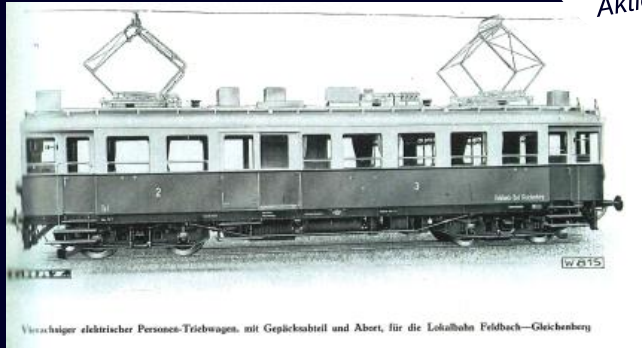
c) Aluminiumhohlprofile

	a) Stahlkonstruktion	b) Faserverbundwerkstoff	c) Aluminiumhohlprofile
Werkzeugkosten	+	++	-
Bauteilkosten	--	--	++
Gewicht	--	++	+
Brandschutz	++	+	++
Schotterschutz	++	+	++
Festigkeit	+	++	++
Therm. Beständigkeit	++	-	+

Renaissance für einen altbewährten Werkstoff



Johann Weitzer
Grazer
Maschinen- und
Waggonbau-
Aktiengesellschaft

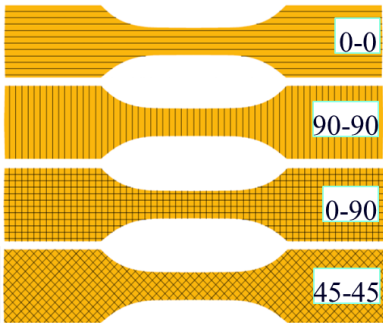
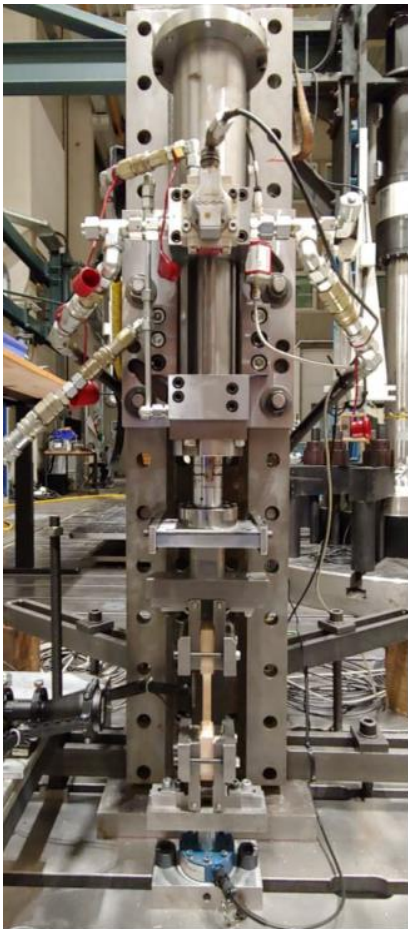


Elektrotriebwagen 1911/Güterwagen/ ET Feldbach Gleichenberg /Leichtbau Sommerwagen der Klagenfurter Straßenbahn 1924 Quelle: Technisches Museum Historama Ferlach

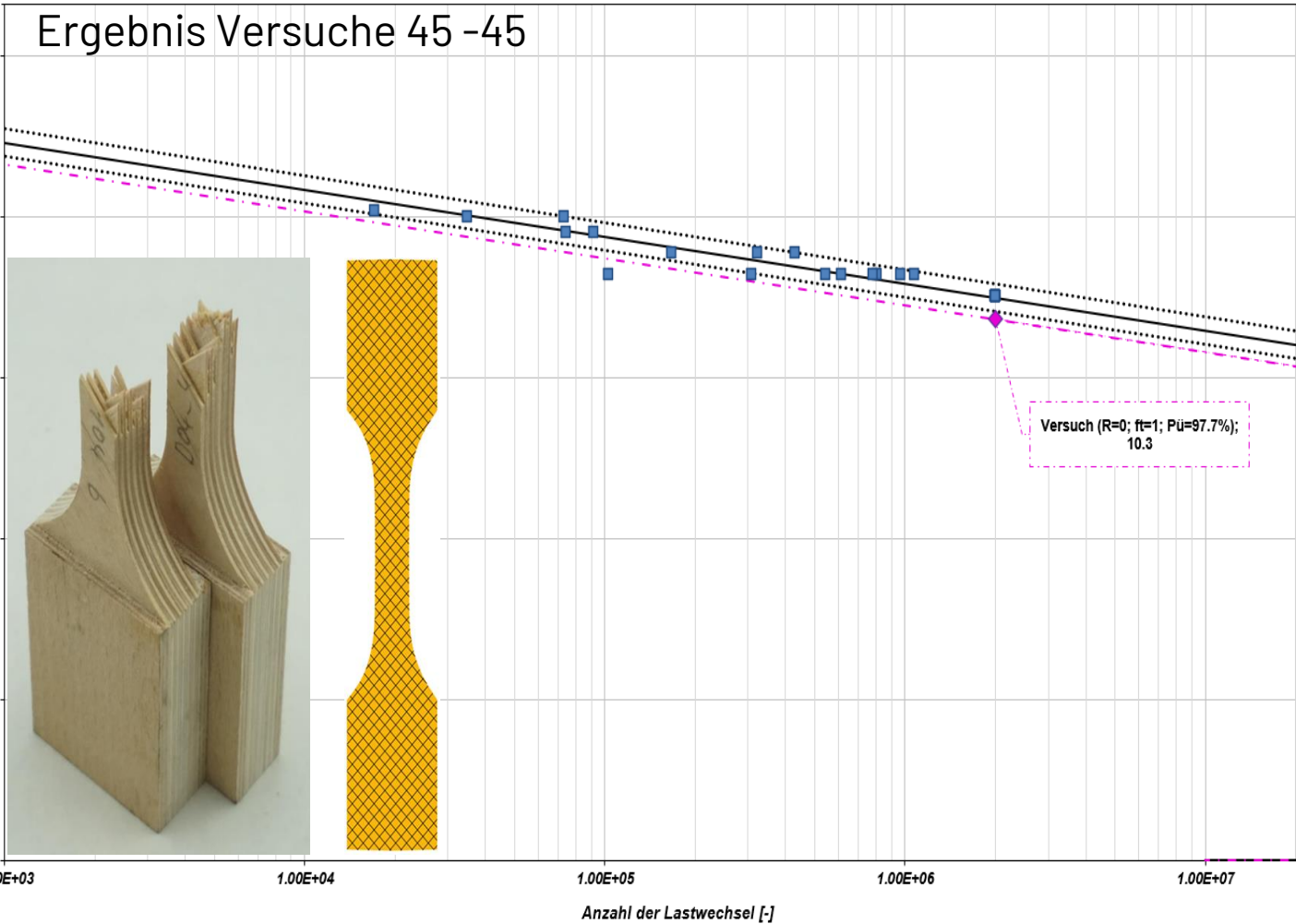
Historie

- Aufbauten von Waggons und Triebwägen wurden bis in die fünfziger Jahre vorwiegend in Holzbauweise ausgeführt.
- Die Vorzüge von Holzbau für Mobilitätsanwendungen hatten fast 60 Jahre Bestand.
- Der Hauptkritikpunkt am Einsatz von Holz war das Verhalten bei Unfällen. Durch den Einsatz von Furnier-Schichtenholz kann dieser Nachteil eliminiert werden.

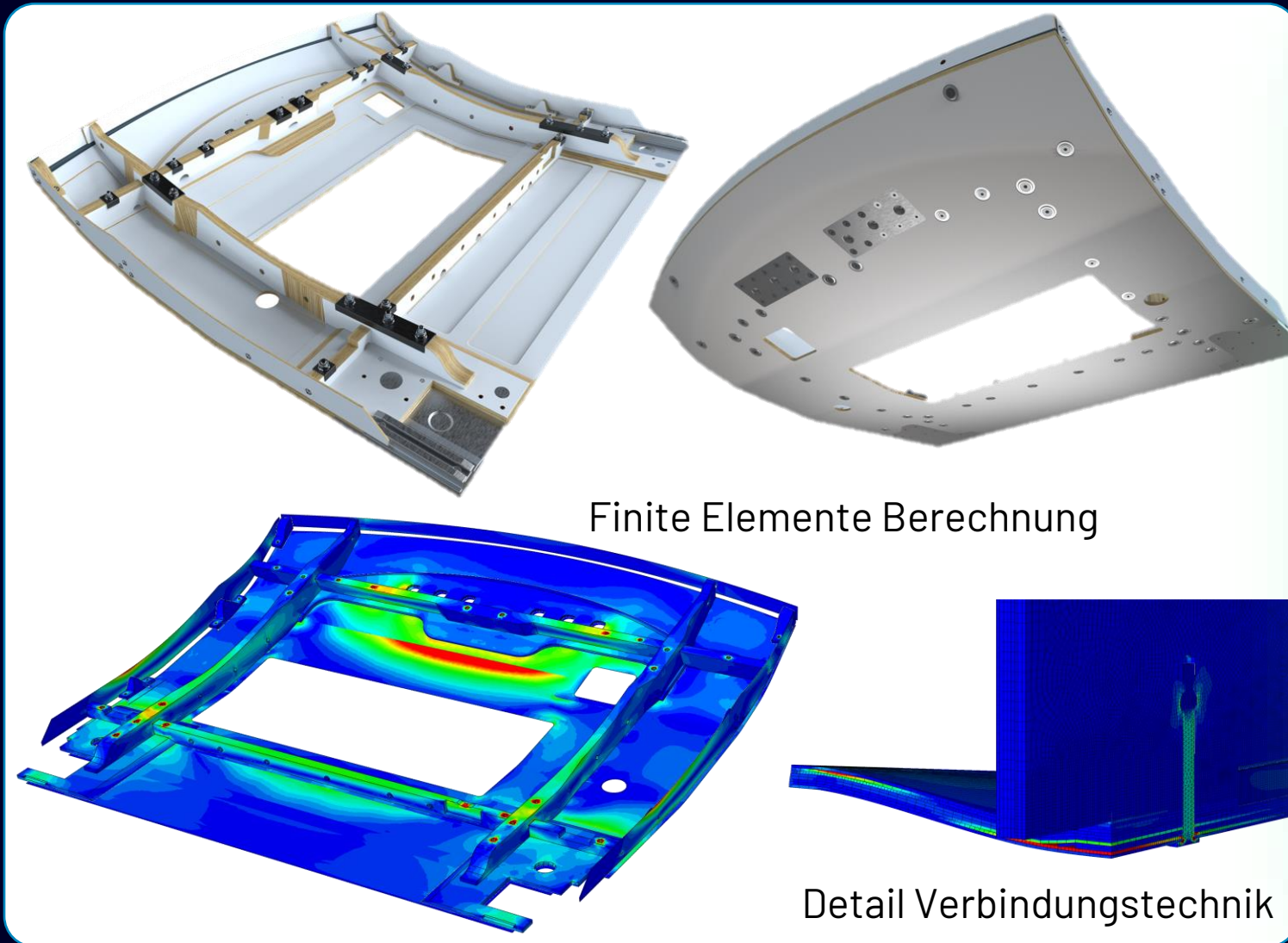
Ermittlung von Werkstoffkenngrößen mittels Festigkeitsversuchen an Flachproben



Flachproben mit variierender Faserorientierung



Festigkeitsbewertung der Fahrwerksverkleidung aus Holzschichtverbund



Festigkeitsbewertung

Holz wird aus strukturmechanischer Sicht als Verbundmaterial verstanden.

Die Festigkeitsbewertung für die vorliegenden Bauteile folgt weitgehend den Ansätzen für faserverstärkte Kunststoffe.

Das verwendete Furnierschichtholz wird in den Berechnungsmodellen als geschichteter Verbundwerkstoff angenommen.

Die Ermittlung der statischen Auslastungsgrade erfolgt unter Anwendung eines interaktiven, phänomenologischen Versagenskriteriums für orthotropes Materialverhalten.

Die Betriebs- bzw. Dauerfestigkeit wird ebenfalls auf Schichtebene beurteilt

Dies erfolgt mit den in Experimenten ermittelten Werten für eine angenommene Dauerfestigkeit

Beschussversuche Holz mit kugelförmigen Körpern T30 – T33

15° Beschuss

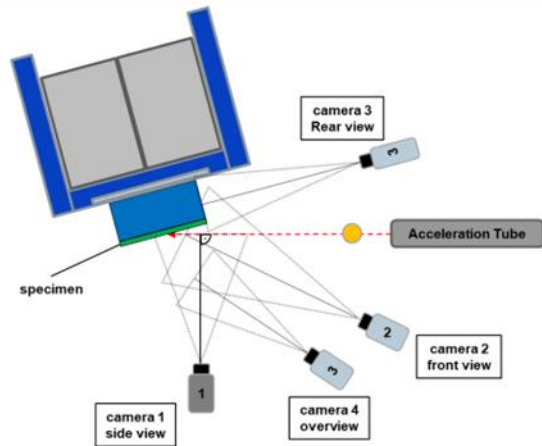
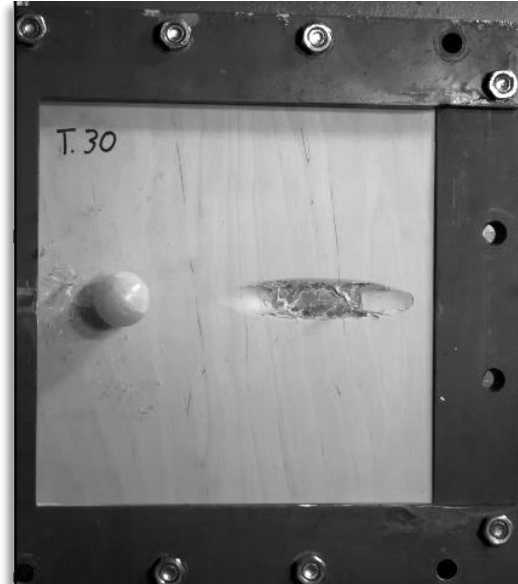
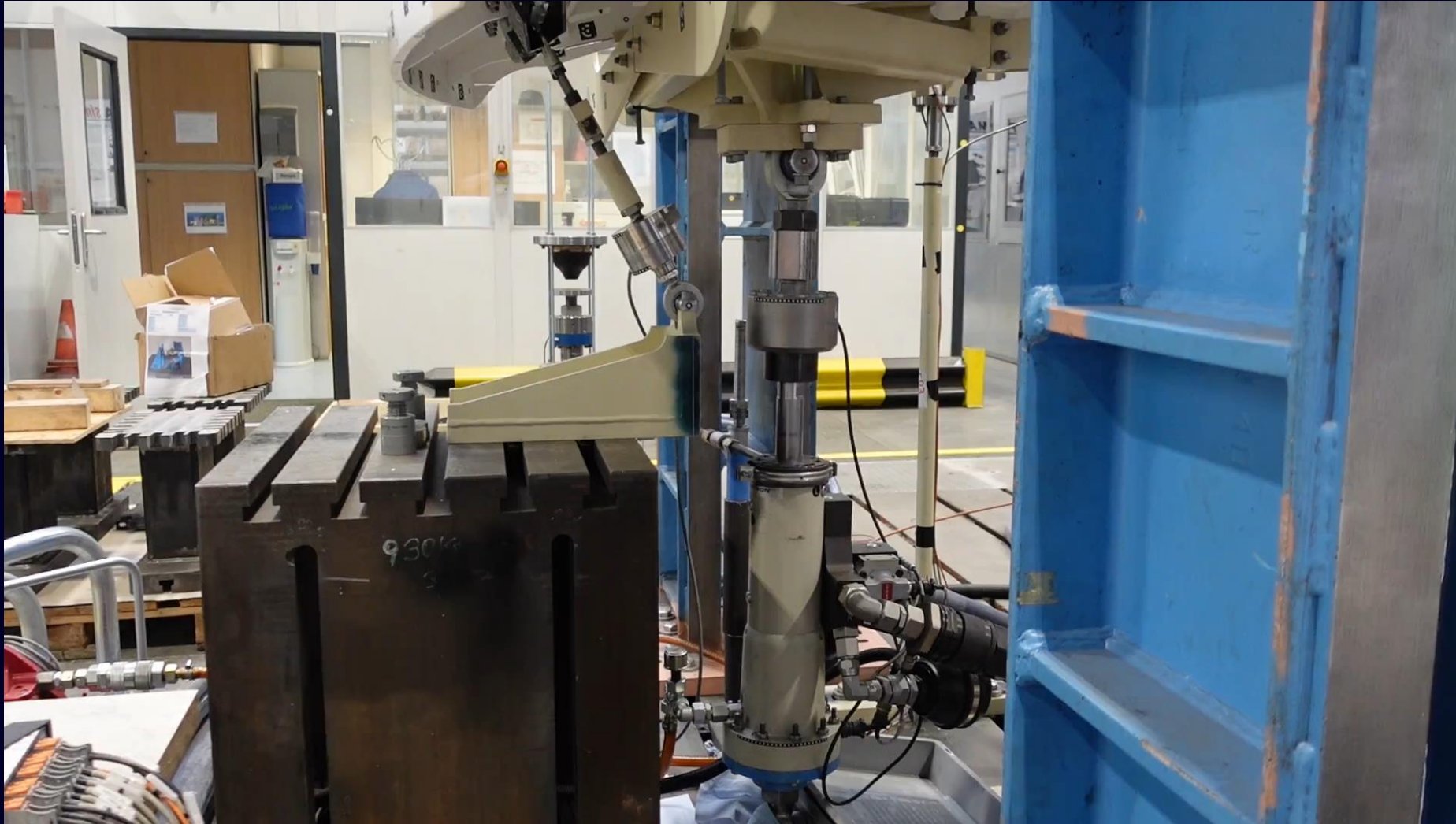


Abb. 3: Beispielhafter Versuchsaufbau 15° Beschuss



Beschussversuche mit 200 mm Granitkugel zeigen hohe Widerstandsfähigkeit gegen Durchdringen des Werkstoffs (z.B. Probe T.30 bei 657 km/h bei 15° Beschuss- Winkel)

Laborversuch zum dynamischen Testen der Struktur insbesondere der Verbindungstechnik



Laborversuch

Ziel des Versuches ist es die Verbindungstechnik zu testen und Schwachstellen aufzuzeigen

Der Versuch zeigte, dass die Hauptstruktur sehr hohe Belastungen ertragen kann.

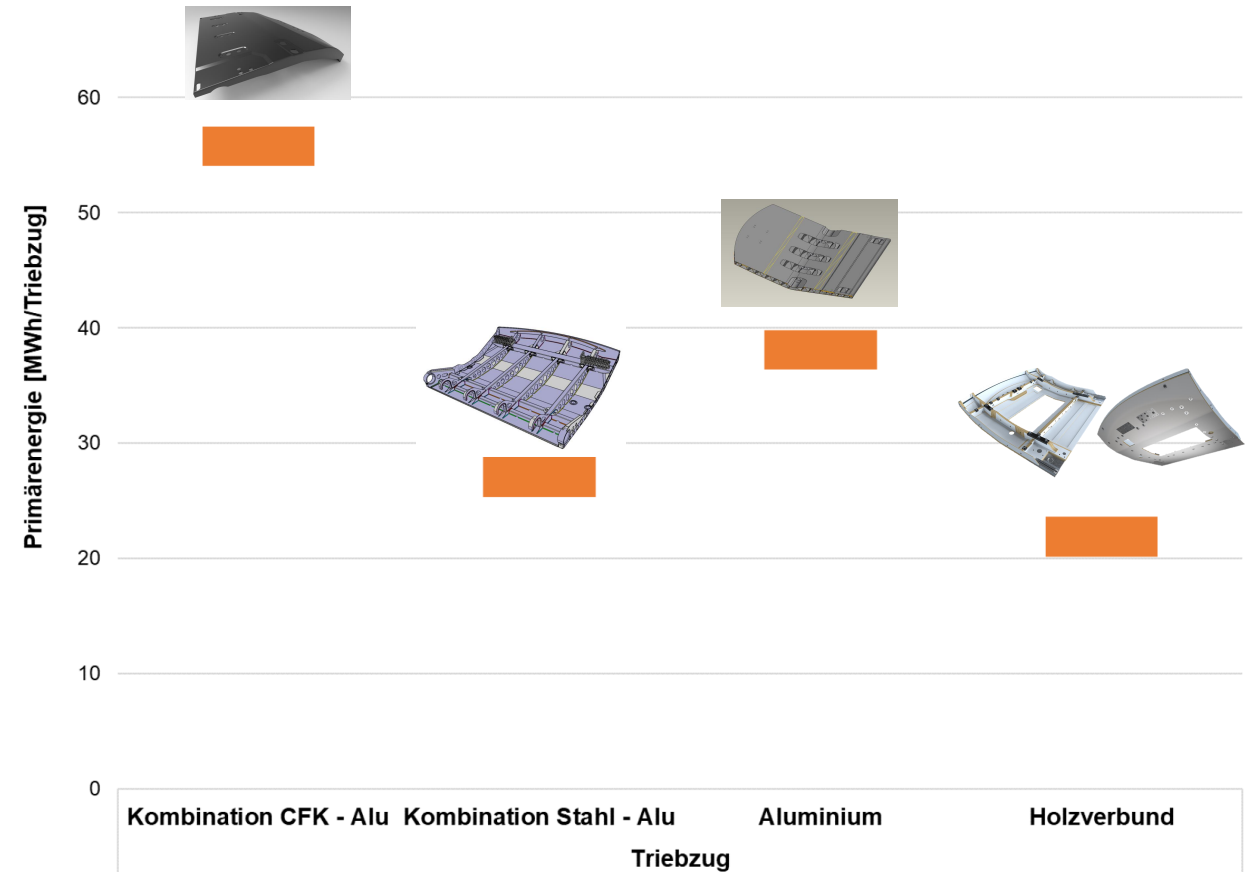
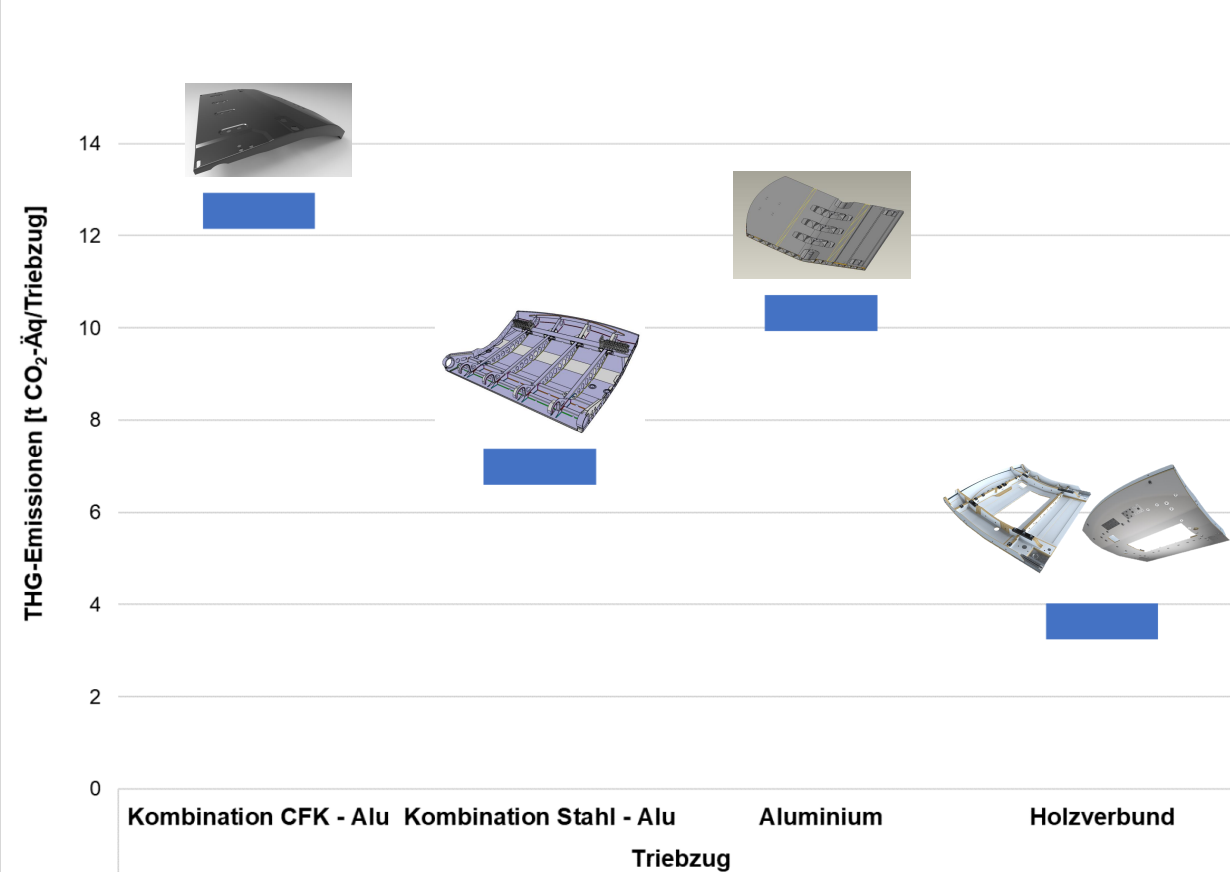
Schwachstellen an der Verbindungstechnik wurden aufgezeigt.


Im Laborversuch können die technischen Grenzen der Komponente ohne Risiko evaluiert werden.

Wintererprobung Velaro Novo



THG-Emissionen und Primärenergie pro Triebzug





Aerodynamic
excellence

Drehgestell
Voll-
verkleidung

Außenhaut
bündiger
Wagen-
übergang

Voll-
isolierter
Strom-
abnehmer

Vollisolierte
Hoch-
spannungs-
dachanlage

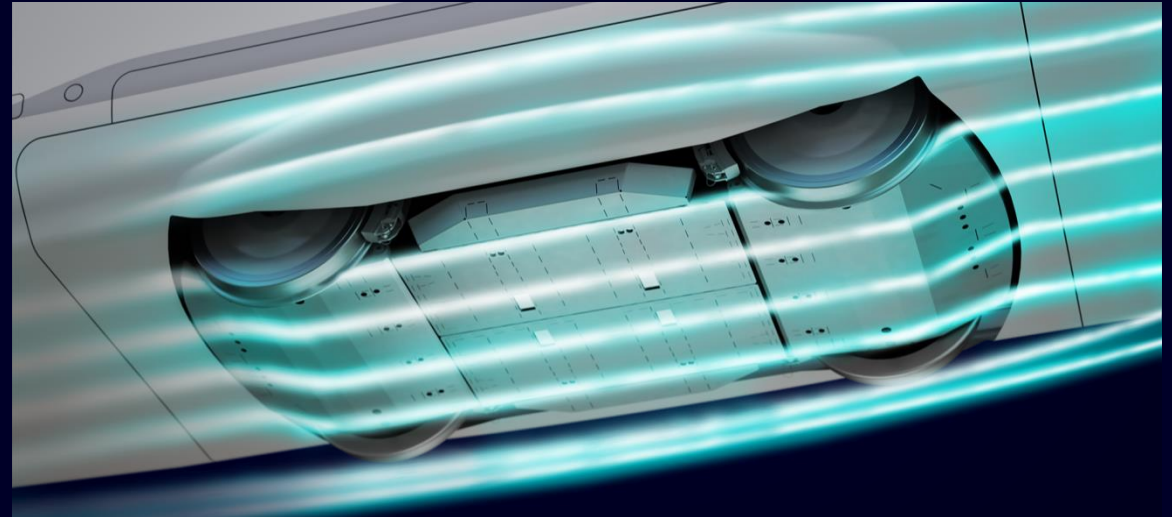
SIEMENS

Die Aerodynamik ist ein wesentlicher Treiber des Energieverbrauchs in Hochgeschwindigkeitszügen

Auswirkung auf den Energieverbrauch

Drehgestell-Vollverkleidung

-15%



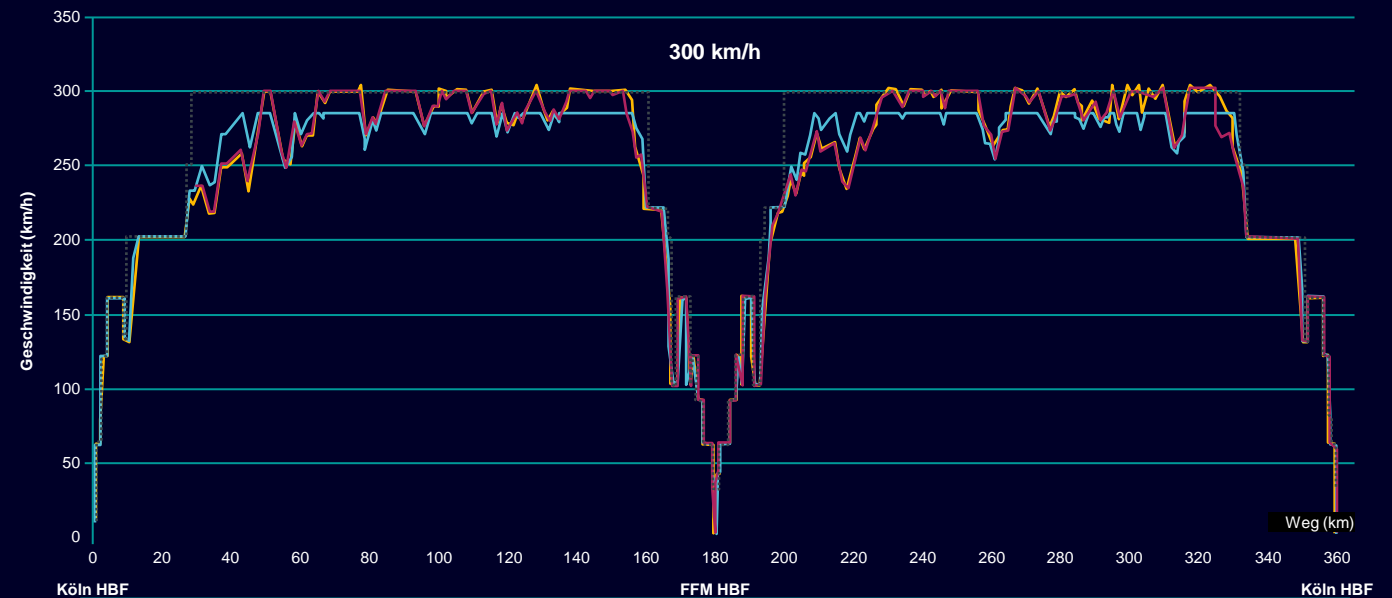
Velaro Novo schont Ressourcen – 30% niedrigerer Energieverbrauch

30% Energieeinsparungen im
Vergleich zum Velaro

Reduktion der Kohlendioxid-
Emissionen um 1.375 Tonnen
pro Zug und Jahr*

* Basis Energiemix Deutschland 2018, bei reinem Kohlestrom 2700t p.a.

Zugperformance Simulation auf der Strecke Köln – Frankfurt



Holz hat das Potential, der Anforderung von Eco Design im Hinblick auf nachhaltige Produkte am besten gerecht zu werden

Zusammenfassung:

Der **Luftwiderstand** ist ein wichtiger Faktor für die **Geschwindigkeitsleistung** von Hochgeschwindigkeitszügen.

Der Luftwiderstand nimmt **quadratisch mit** der **Geschwindigkeit** zu, sodass bei höheren Geschwindigkeiten der Einfluss der Luftströmung immer größer wird.

Die Gestaltung von nachhaltigen Hochgeschwindigkeitszügen muss daher darauf ausgerichtet, den **Luftwiderstand** zu **minimieren**, um die Effizienz zu maximieren.

Die **Fahrwerke** spielen eine **nicht unwesentliche Rolle** im Hinblick auf den Luftwiderstand. Durch Anbringung von **Verkleidungselementen** kann der Luftwiderstand maßgeblich verbessert werden.

Die **Herausforderung** in der Entwicklung dieser Bauteile liegen in der **aerodynamischen Formgebung**, der **Festigkeitsauslegung** aufgrund von hohen Belastungen, Erfüllung des **Brandschutzes** und Widerstandsfähigkeit gegen **Schotterflug** bei gleichzeitiger Anforderung hinsichtlich **minimalen Gewichts** und **Kosten**.

Neben klassischen Materialien für die Fahrwerksverkleidung wie **Stahl (schwer)**, **Aluminium** und **Faserverbundwerkstoff (teuer)** wird ein **Eco-Design** aus **Holzschichtverbund (leicht und günstig)** vorgestellt.

Eco-Design ist eine wichtige Strategie für ein Unternehmen wie SIEMENS Mobility, um noch **nachhaltigere Produkte** zu entwickeln und gleichzeitig die **Umweltauswirkungen** ihrer Geschäftsaktivitäten zu **minimieren**.

Holz hat sich als Werkstoff mit **hohem Potential** für **Verkleidungselemente** herausgestellt, der diesen Anforderungen gerecht werden kann.

■ Michael Kopp



Program Director Velaro Novo

Siemenspromenade 8
91058 Erlangen
Deutschland

Mobile: [+49 \(172\) 1086612](tel:+491721086612)

E-mail: michael.kopp@siemens.com

■ Alexander Prix



Head of Innovation Management Bogies & Pantographs

Eggenberger Strasse 31
8020 Graz
Austria

Mobile: [+43 \(664\) 88556676](tel:+4366488556676)

E-mail: alexander.prix@siemens.com

■ Dr. Thomas Moshhammer



Head of Structure-Simulation- Validation, Bogie Engineering

Eggenberger Strasse 31
8020 Graz
Austria

Mobile: +43 (664) 88554579

E-mail: thomas.moshhammer@siemens.com