

FRÜH UND EFFIZIENT

Optimierungspotenziale in der frühen Phase der Aerodynamik-Entwicklung

Optimale Aerodynamik spielt bei Porsche-Sportwagen eine zentrale Rolle – seit jeher. Bereits bei den ersten Porsche-Fahrzeugen wurde viel Wert auf eine gute Aerodynamik gelegt. Dies trug auf den Rennstrecken trotz vermeintlich unterlegener Fahrzeuge zu zahlreichen Erfolgen bei. Und nicht nur Porsche-Modelle werden von den Ingenieuren für erstklassiges Aerodynamikverhalten ausgelegt, sondern auch die Fahrzeuge anderer Hersteller und Branchen. Insbesondere die frühe Phase der Aerodynamik-Entwicklung bietet dabei besondere Effizienzpotenziale.

Von Thomas Aussem und Marcel Straub

Die auf ein Fahrzeug wirkenden aerodynamischen Kräfte sind enorm. Sie wachsen mit der Fahrgeschwindigkeit im Quadrat und erreichen bei rund 250 km/h einen Wert, der beispielsweise bei einem Flugzeug zum Abheben führt. Die Aufgabe des Automobil-Aerodynamikers besteht bei performanceorientierten Fahrzeugen nun darin, diese Kräfte für den Antrieb zu nutzen, um damit Kurvengeschwindigkeiten und Fahrstabilität zu erhöhen. Gleichzeitig wird für geringe Verbräuche, niedrige CO₂-Werte und hohe Endgeschwindigkeiten der Luftwiderstand so weit wie möglich reduziert.

Die Aerodynamik hat maßgeblichen Einfluss darauf, ob ein Fahrzeug die gesetzten Ziele erreicht. Neue Prüfzyklen, neue Anforderungen im Bereich Elektromobilität und die weitere Verschärfung der gesetzlichen Rahmenbedingungen lassen die Bedeutung eines niedrigen Strömungswiderstands in Zukunft weiter wachsen.

Porsche Engineering bietet den Kunden im Bereich Aerodynamik die Möglichkeit, das Wissen aus der Sportwagenentwicklung auf ihre Projekte zu übertragen. Die Fahrzeugpalette ist dabei nicht nur auf Sportwagen beschränkt. Von der kompakten Limousine bis zum SUV profitieren alle Klassen von den langjährigen Erfahrungen der Ingenieure. Dabei erwartet den Kunden ein auf seinen Bedarf individuell zugeschnittener Ent-

wicklungsprozess, der den Zugriff auf die gesamte aerodynamische Prüflandschaft des Entwicklungszentrums Weissach einschließt. Die Projektumfänge reichen von Consulting über Unterstützung bei Messungen bis hin zur kompletten Übernahme der aerodynamischen Entwicklungsverantwortung.

Aerodynamik ist mehr als nur der c_w-Wert

Der Luftwiderstand ist die zentrale Größe der heutigen Aerodynamik-Entwicklung von Fahrzeugen und stellt ab einer Geschwindigkeit von 80 km/h den dominierenden Teil der Fahrwiderstände dar. Als dimensionsloser Beiwert ist der c_w-Wert ein Maß für die aerodynamische Formgüte eines Fahrzeuges und ermöglicht den direkten Vergleich unterschiedlicher Fahrzeuggrößen und -klassen.

Eine weitere aerodynamische Angabe ist der Auftriebsbeiwert c_A, der sich auf Vorder- und Hinterachse aufteilt. Damit werden die von der umströmten Fahrzeugkontur erzeugten Auf- oder Abtriebskräfte bewertet. Doch nicht nur deren Absolutwerte sind entscheidend. Besonders wichtig für die Fahrdynamik ist eine ausgewogene aerodynamische Balance, also

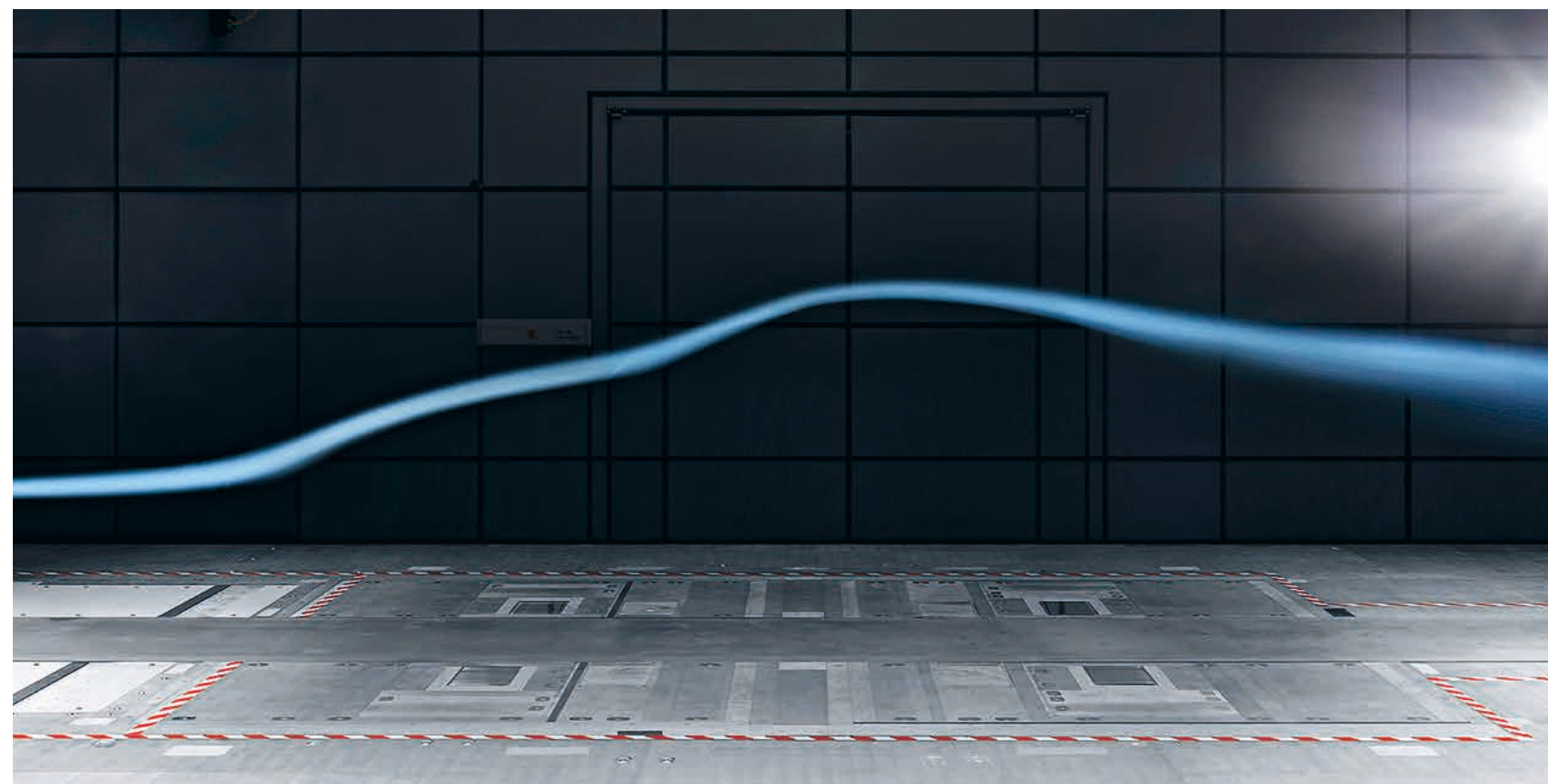
die Verteilung der Kräfte auf Vorder- und Hinterachse, um vor allem bei hohen Geschwindigkeiten eine hervorragende Fahrstabilität zu erzielen.

Aus diesen klassischen Disziplinen hat sich eine Vielzahl an weiteren Aufgabenfeldern entwickelt, in denen die Aerodynamik direkten Einfluss auf den Entwicklungsprozess nimmt (siehe Abbildung auf Seite 12). Insbesondere die enge Verknüpfung von Aero- und Thermodynamik sei hier erwähnt. Alle der Kühlung und Belüftung zugedachten Luftströme haben eine direkte Auswirkung auf die aerodynamische Gesamtperformance des Fahrzeuges. Meistens sind diese Sekundärströmungen verlustbehaftet. Deshalb gilt der Grundsatz: So viel wie nötig, so wenig wie möglich.

Zwar sind die Herausforderungen der Aerodynamik-Entwicklung stetig gestiegen, aber die Entwicklungswerkzeuge hielten Schritt und sind allen heutigen Aufgaben gewachsen. So kann Porsche auf eine einzigartige Aerodynamik-Prüflandschaft zurückgreifen. Neueste Errungenschaft ist ein Aerodynamik- und Akustik-Windkanal für Fahrzeuge im Maßstab 1:1, der auch die Straßensimulation erlaubt (siehe Artikel „Präzise und flexibel“ ab Seite 16). Der neue Windkanal ist seit dem Frühjahr 2015 im Serieneinsatz und hilft dabei, die Herausforderungen von morgen zu meistern. Zusätzlich stehen im Entwicklungszentrum Weissach ein 1:1-Fahrzeugwindkanal ohne Straßensimulation sowie ein Windkanal für Aerodynamikmodelle im Maßstab 1:3 zur Verfügung. Auch externe Kunden können diese Ressourcen über Porsche Engineering nutzen. Abgerundet wird die Palette der Entwicklungswerkzeuge mit dem Einsatz von numerischen Strömungssimulationen (CFD – Computational Fluid Dynamics). Hier werden digitale Aerodynamikmodelle mit einem sehr hohen Detaillierungsgrad und vielen Millionen Zellen erstellt, berechnet und ausgewertet. Akkurate Ergebnisse sind dank moderner Rechner-Cluster über Nacht verfügbar.

Aerodynamik in der frühen Projektphase

Besondere Relevanz für die Aerodynamik-Entwicklung hat die frühe Phase eines jeden Fahrzeugprojektes. Hier kann zusammen mit der Styling-Abteilung noch umfangreich Einfluss auf die Fahrzeugform genommen werden, um die aerodynamischen Ziele zu erreichen. Innerhalb definierter Randbedingungen herrschen noch große Freiheitsgrade bei der Optimierung des Grundkörpers, die eingebrachten Änderungen im Bereich der Außenhaut bleiben dabei meist kostenneutral. Um die aerodynamischen Potenziale in einem Projekt auszuschöpfen und die gesteckten Zielwerte zu erreichen, muss schnell, flexibel und kostengünstig auf die verschiedenen >



Dieser visualisierte Luftstrom lässt eine vertraute Silhouette erkennen.

DIE VIELFÄLTIGKEIT DER AERODYNAMIK: HERAUSFORDERUNGEN UND ZIELE

- Luftwiderstand
- Auftriebsbalance
- Motorkühlung
- Aggregatebelüftung
- Verschmutzung
- Bauteilkräfte
- Zugfreihaltung
- Aeroakustik



Veränderungen im Projekt reagiert werden. Porsche Engineering setzt hier auf einen integrierten Aerodynamikprozess aus realen Messungen und Optimierungen im 1:3-Modellwindkanal einerseits sowie virtuellen CFD-Simulationen andererseits. Die komplementären Vorteile der beiden Methoden können so optimal kombiniert werden.

Das 1:3-Aerodynamikmodell bietet die Möglichkeit, in kürzester Zeit optimierende Formänderungen aufzomodellieren und ihre Wirkung im Windkanal zu bewerten. Sowohl der Effekt auf die aerodynamischen Beiwerte, vor allem aber auch der optische Einfluss auf das Design des Fahrzeugs können gemeinsam mit dem Stylisten beurteilt werden. Bis zu 30 unterschiedliche Modellkonfigurationen lassen sich so an einem Tag untersuchen. Die Verwendung eines skalierten Modells hat zwei Vorteile: Zum einen können beim Modellaufbau sowie bei den Windkanalkosten im Vergleich zum 1:1-Vollmodell erhebliche Kosten eingespart werden, zum anderen wird die Windkanalzeit mit dem 1:3-Modell deutlich besser ausgenutzt, da Änderungen schneller umsetzbar sind.

Gerade in einer frühen Projektphase entstehen zumeist mehrere Styling-Varianten parallel. Das Erstellen einer großen Anzahl von Windkanalmodellen für jeden dieser Entwürfe wäre sehr teuer und die Reaktionszeiten vom Datenrelease bis zur Bewertung wären zu lang – hier spielt die CFD-Simulation ihre Stärken aus. Auf dem vorbereiteten digitalen Plattform-

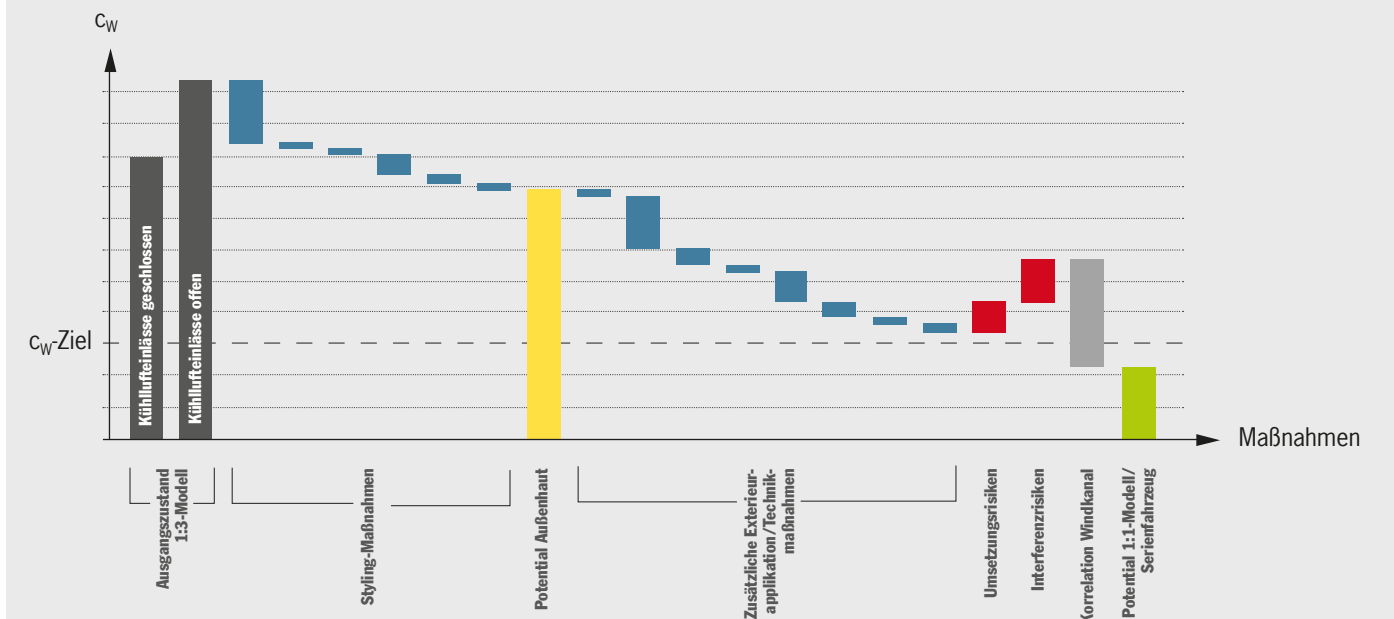
datensatz lassen sich die Stylingentwürfe schnell auswechseln und somit effizient bewerten. So können bereits in der sehr frühen Projektphase die aerodynamischen Potenziale der diversen Stylingvarianten beurteilt werden.

Optimierung am Windkanalmodell

Beim Modellaufbau spielt vor allem das Kosten-Nutzen-Verhältnis eine Rolle, ausschlaggebend ist dabei der Detaillierungsgrad der Modelle. Der Porsche-Modellbau kann dabei alles darstellen: von einem einfachen Schaumkörper bis hin zur komplexen Durchströmkarosserie (DSK) mit einer Clay-Außenhaut zur Modellierung von Formoptimierungen, ebenso mit Drucksonden bestückte Modellkühler und die Abbildung der Motorraumdurchströmung sowie eines detailgetreuen Unterbodens. Gemäß den Zielen des Kunden wird ein Modellmix erarbeitet, der unter den vorgegebenen Budgetbedingungen einen optimalen Nutzen für die Aerodynamik ergibt.

Die größten Vorteile der Entwicklung mit skalierten Modellen liegen in der Flexibilität und den Freiheitsgraden im Windkanal. Innerhalb weniger Minuten ist eine Formänderung definiert und vom erfahrenen Modelleur auf das Aerodynamikmodell übertragen. Das Feedback im Windkanal erfolgt unmittelbar. Die Beiwertveränderungen können online bewertet werden und in die nächste Konfigurationsänderung mit einfließen.

ZIELWERTTREPPEN (SCHEMATISCHE DARSTELLUNG)



Doch nicht nur Optimierung durch Auf- oder Abtragen von Clay ist machbar, auch die Wirkung von Anbauteilen wie beispielsweise Spoiler oder Flügel lässt sich unmittelbar ermitteln. So können bereits in einer frühen Phase die aerodynamische Effizienz von Maßnahmen bewertet und Konzeptentscheidungen unterstützt werden.

Die Ergebnisse aus CFD-Simulationen unterstützen auch hier die Arbeit im Windkanal. Die virtuelle Entwicklungsmethode spielt dabei ihre enormen Vorteile in Sachen Strömungsvisualisierung aus. Strömungsablösungen, Wirbelstrukturen, Druck- und Geschwindigkeitsverteilungen können aus nahezu jeder erdenklichen Sichtposition und Schnittlage genauestens analysiert werden. Auch Sensitivitätsanalysen etwa zu Hecklängen, Heckhöhen oder Front- und Heckscheibenwinkeln lassen sich dank eines Morphing-Tools schnell umsetzen. Die Erkenntnisse können dann auf das 1:3-Windkanalmodell zur zielgerichteten Optimierung angewendet werden. Im Ergebnis entsteht ein aerodynamisch optimiertes Fahrzeugmodell. Die Maßnahmen können nun mit Stylisten oder Entwicklungsingenieuren direkt am Modell besprochen werden. Zusätzlich wird im Rahmen einer Modellabstimmung etwa durch einen 3D-Laserscanner das Modell beispielsweise der Styling-Abteilung sowie den technischen Fachabteilungen elektronisch zur Verfügung gestellt. Aus einer Fülle an Optimierungspotenzialen entsteht nun eine Prognose auf den Zielwert des späteren Serienfahrzeugs (siehe auch oben stehende Illustration). Hierbei

werden bereits Maßnahmen wie zum Beispiel für Unterbodenverkleidungen und Kühlerjalousien berücksichtigt, die zu einem späteren Zeitpunkt am 1:1-Windkanalfahrzeug detailliert entwickelt werden.

Das Ziel der Optimierung im Windkanal und bei der CFD-Simulation ist es, die erarbeiteten Verbesserungen im Projekt umzusetzen. Häufig müssen dabei neue Lösungen mit anderen technischen Fachbereichen und der Styling-Abteilung gefunden werden. Auch dies zählt zum Angebotsumfang von Porsche Engineering: Porsche-Ingenieure mit langjährigen Erfahrungen unterstützen mit ihrem Prozesswissen den Kunden direkt vor Ort bei der Vertretung der Vorschläge in Entscheidungsgremien sowie bei der Umsetzung der definierten Maßnahmen, um am Ende das beste Gesamtpaket zu erzielen.

Fazit

Auch in Zukunft werden die Anforderungen an die Aerodynamik weiter steigen. Es gilt, CO₂-Emissionen und Verbrauch durch Verminderung des Luftwiderstands weiter zu reduzieren und gleichzeitig Abtrieb, Fahrverhalten und Komfort optimal zu gestalten. Die Aerodynamiker von Porsche Engineering begegnen diesen Herausforderungen mit der intelligenten Kombination aus numerischer Strömungssimulation und realer Messung – und nicht zuletzt mit der Erfahrung aus der Entwicklung von Sportwagen. ■