

A high-angle, low-light photograph of a cyclist riding on a winding road at night. The road is illuminated by a bright, circular spotlight, creating a dramatic contrast with the dark surroundings. The cyclist is positioned in the lower center of the frame, leaning into a curve. The road's curves are emphasized by the light and shadow, creating a sense of motion and depth.

R

S H A V E

White Paper

Standards? Break away.

Viele Ideen, unzählige Simulationen und ein klar definierter Anspruch: eine Plattform schaffen, die neue Maßstäbe setzt und mit bekannten Mustern im Bereich des Radsports bricht. Entstanden sind zwei Rahmenkonzepte, die alles vereinen, was es braucht, um auf der Straße Spaß zu haben – und um Rennen zu gewinnen.

Das Shave vereint Ergonomie mit Aerodynamik und treibt dich an, länger schnell zu fahren. Aero oder Endurance? Kein entweder oder mehr dank AergoConcept.

Das Shave FF wurde für Rennen entwickelt: Hier folgt die Aero-Form der Funktion und die Funktion deiner Ambition: Schneller sein als alle anderen. Auf der Waage nah am Limit, setzt es im Windkanal die neue Benchmark bei den All-in-one Bikes.

Wie wir das geschafft haben? Let's go.



Einleitung

Performance Rennräder sind gemacht für den Wettkampf – ihre Entwicklung ist davon geleitet, rennrelevante Faktoren ins bestmögliche Verhältnis zu setzen. Die größte Herausforderung: das fragile Dreiecksverhältnis aus Aerodynamik, Steifigkeit und Gewicht. Denn die Optimierung eines Parameters führt meist zu Einbußen eines anderen.

Das Shave ist deshalb mit einem ganzheitlichen Ansatz entlang streng wissenschaftlicher Methoden entwickelt worden. Aerodynamische Effekte wurden im virtuellen Windkanal untersucht, Steifigkeitsentscheidungen auf einem virtuellen Prüfstand getroffen – mit dem Anspruch an ein Rennrad, das neue Maßstäbe setzt.

Das Ergebnis sind zwei hoch spezialisierte Rahmenkonzepte, die technologisch auf derselben Basis aufbauen:

- Das Shave stellt eine absolute Neuheit dar: Mit dem AergoConcept wird erstmals die Aero-Performance eines spezialisierten Wettkampfrads mit den ergonomischen Vorteilen einer Endurance-Geometrie vereint. Ambitionierte Fahrer:innen profitieren dadurch auch auf langen Distanzen von aerodynamischen Vorteilen – ohne Einbußen beim Komfort machen zu müssen.
- Das Shave FF und FFX repräsentiert die kompromisslose Renngeometrie für maximale Geschwindigkeit und Effizienz im Wettkampf. Es steht für die optimale Balance aus minimalem Luftwiderstand und Gewicht sowie maximaler Steifigkeit – die Benchmark im Segment der Performance-Rennräder.

Parallel hierzu wurde ein neuer Laufradsatz entwickelt. Während die progressive Rahmengeometrie den Unterbau für Effizienz, Beschleunigung und Kontrolle bildet, vereinen die neuen RC55 Laufräder hohe Fahrstabilität mit minimalem Luftwiderstand und Gewicht.

Auf den folgenden Seiten werden die Methoden und Annahmen erläutert, die bei der Entwicklung des Bikes getroffen wurden. Dabei wird – sofern nicht explizit benannt – der Begriff „Shave“ als Sammelbegriff für beide Plattformen verwendet.



Abbildung 1: Links das Shave, rechts das Shave FFX

Zielsetzung

Bei der Entwicklung des Shave stand die Aerodynamik im Zentrum. Aerodynamische Rahmen und Laufräder prägen den modernen Straßenradsport seit Jahren und haben sich längst auch abseits von Zeitfahren zu einem entscheidenden Erfolgsfaktor entwickelt.

Bereits unter 20 km/h stellt der Luftwiderstand in der Ebene den dominierenden Fahrwiderstand dar. Die zu seiner Überwindung erforderliche Wattleistung steigt dabei überproportional an. So muss bereits bei einer Tempoerhöhung von 30 auf 35 km/h über 50 % mehr Leistung nur für den Luftwiderstand aufgebracht werden. Mit steigenden Durchschnittsgeschwindigkeiten im professionellen Rennradsport gewinnt dieser Zusammenhang somit enorm an Bedeutung.

Ein aerodynamisches Rennrad zu konstruieren, ist dabei nur eine Seite der Herausforderung. Entscheidend ist, Aerodynamik, Gewicht und Steifigkeit in Einklang zu bringen – Faktoren, die sich gegenseitig beeinflussen und Auswirkungen sowohl auf die Energieeffizienz als auch Fahrverhalten und Komfort haben. Neben zusätzlichen Anforderungen an z. B. die Reifenfreiheit oder Geometrie wurden für das Shave klare Entwicklungsziele definiert, die in folgender Zielmatrix zusammengefasst sind.

	Rahmen	Gabel	Cockpit	Sattelstütze	Laufradsatz
Luftwiderstand	-	-	-	-	=
Gewicht	-	=	-	-	-
Steifigkeit	+	=	/	/	=
Lenkmoment	/	/	/	/	-

* + entspricht Werterhöhung, - entspricht Wertreduktion, = entspricht gleichbleibendem Wert, / entspricht nicht definiertem Wert

Bereits in der Konzeptphase wurde deutlich, dass im Sinne eines ganzheitlichen Entwicklungsansatzes rein analytische Vorgehensweisen nicht ausreichen, um den formulierten Zielen gerecht zu werden. Aus diesem Grund wurden numerische Untersuchungen auf Basis von Computersimulationen eingesetzt. Sie ermöglichen eine quantitative Bewertung der Entwicklungsziele, den direkten Vergleich unterschiedlicher Geometrievarianten und die Optimierung des Gesamtsystems aus Rahmen, Gabel, Cockpit und Laufrädern als funktionale Einheit.

Aerodynamische Entwicklung

Bei den zur Entwicklung eingesetzten CFD-Simulationen (Computational Fluid Dynamics) handelt es sich um softwarebasierte Untersuchungsmethoden, mittels derer die Luftumströmung des Rennrads in einem „virtuellen Windkanal“ simuliert wird. Gegenüber Tests von Prototypen in einem realen Windkanal ermöglichen CFD-Simulationen die Analyse von mehr Geometrie-Varianten in kürzerer Zeit. Die auch für Formel-1-Rennwagen und Flugzeuge verwendete Methode bildete ein zentrales Werkzeug bei der Entwicklung des Shave.

Entgegen dem Branchentrend wurde dabei bewusst auf ein Outsourcing der Strömungsanalysen verzichtet. Die erforderliche Aerodynamik- und CFD-Expertise wurde stattdessen inhouse aufgebaut, wodurch sich im Speziellen folgende Vorteile ergeben:

- optimierter Entwicklungsansatz durch Kontrolle über Methodik, Genauigkeit und Randbedingungen
- kurze Entwicklungsintervalle dank enger Abstimmung zwischen Konstruktions- und Simulationsteam
- nachhaltiger Wissensaufbau für Folgeprojekte und zur Stärkung der Markenwahrnehmung

Aufbau des CFD-Setups

CFD-Analysen erlauben es, die Umströmung des Rennrads anhand vorab definierter Rechenmodelle zu simulieren und numerisch sowie grafisch abzubilden. So kann das Design des Bikes beliebig verfeinert werden, noch bevor ein Prototyp gebaut ist. Zunächst wird hierzu ein digitales Abbild der Rennrad-Geometrie erstellt und dieses Modell anschließend in ein dreidimensionales Gitternetz überführt – bestehend aus Millionen von Zellen, die als einzelne Rechenelemente ein punktgenaues Erfassen der Strömung ermöglichen (Abb. 2).

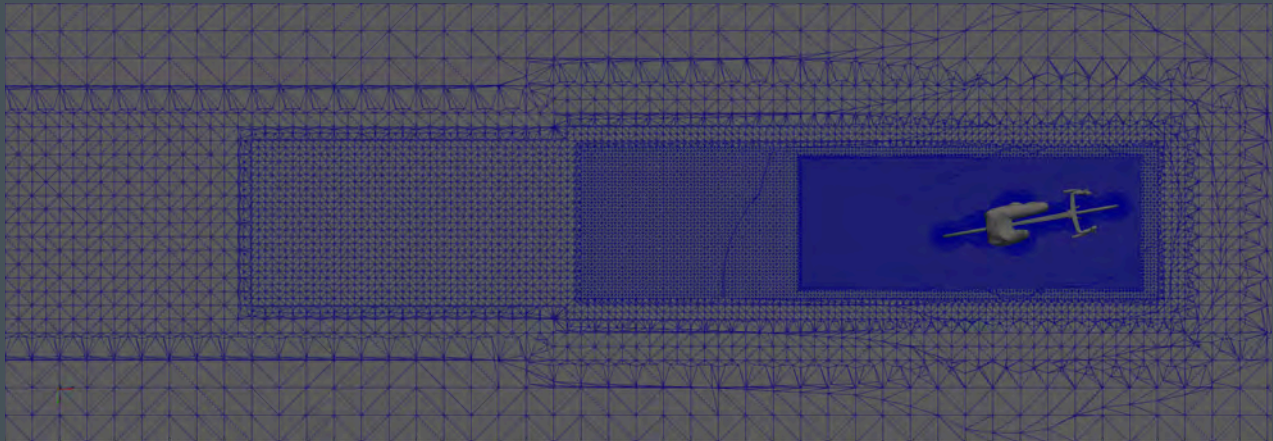


Abbildung 2: Draufsicht des virtuellen Windkanals in Seitenwindverhältnissen

Parallel wurden physikalische Modelle ausgewählt, die das Strömungsverhalten beispielsweise für Turbulenzen oder Seitenwind möglichst realistisch beschreiben. Denn zusätzlich zum Fahrtwind herrscht auch in der Natur nahezu immer Wind – aus wechselnden Richtungen und mit Geschwindigkeiten, die denen im Radsport gleichen. Der Einfluss des Anströmwinkels ist dabei signifikant. Seitenwind beeinflusst die Druckverteilung auf dem Rahmen so, dass bei bestimmten Winkeln und geeigneten Rohrprofilen der Luftwiderstand des Rahmens sinkt – ein Verhalten, das auch als Segeleffekt bezeichnet wird. Diesen erwünschten Effekt bereits bei geringen Anströmwinkeln nutzbar zu machen und gleichzeitig den frontalen Luftwiderstand zu minimieren, ist Ziel eines jeden aerodynamischen Designprozesses.

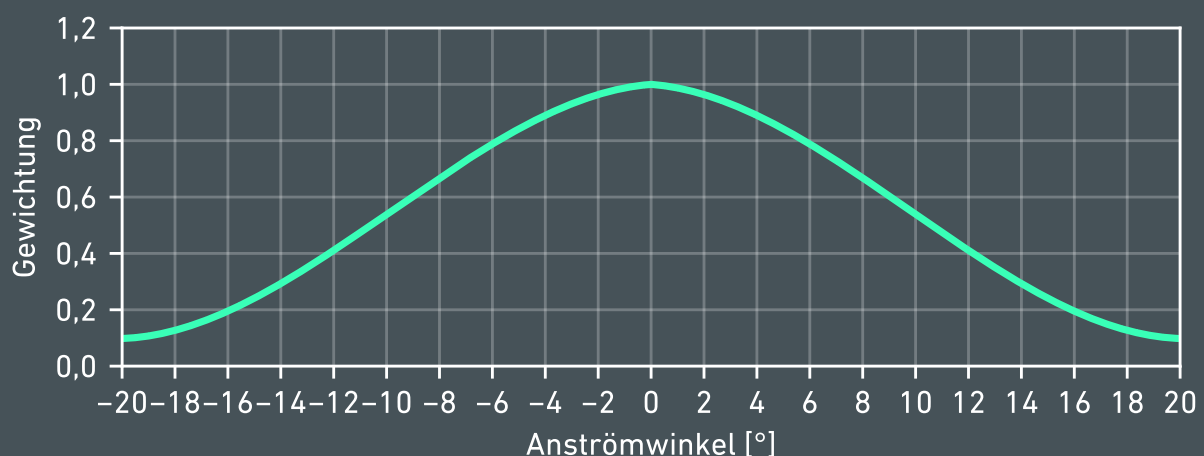


Abbildung 3: Gewichtsverteilung für Fahrgeschwindigkeit von 40,23 km/h und Windgeschwindigkeit von 11,27 km/h; Quelle: Barry N, 2018, A new method for analysing the effect of environmental wind on real world aerodynamic performance in cycling

Auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse (vgl. Barry, 2018) wurde eine Auswertungsmethodik entwickelt, welche Anströmwinkel zwischen 0° und 20° berücksichtigt und in unterschiedlicher Gewichtung zu einem Gesamtergebnis zusammenrechnet (Abb. 3). So konnten nicht nur Windwiderstand und Segeleffekte, sondern auch auftretende Lenkmomente bei Seitenwindbedingungen bestimmt werden.

Die komplexen mathematischen Gleichungen werden in Tausenden von Iterationen berechnet, bis sich schließlich stabile Ergebnisse einstellen. Grafisch aufbereitet machen sie die unsichtbare Umströmung des Rads sichtbar (Abb. 4). Der konsequente Einsatz wissenschaftlicher Methoden sowie ein hoher Automatisierungsgrad der Berechnungen machen das Rose CFD Tool damit zur Grundlage für die aerodynamische Auslegung des Shave. Nach erfolgreicher Implementierung konnte nun der Eintritt in Entwicklungsphase folgen.

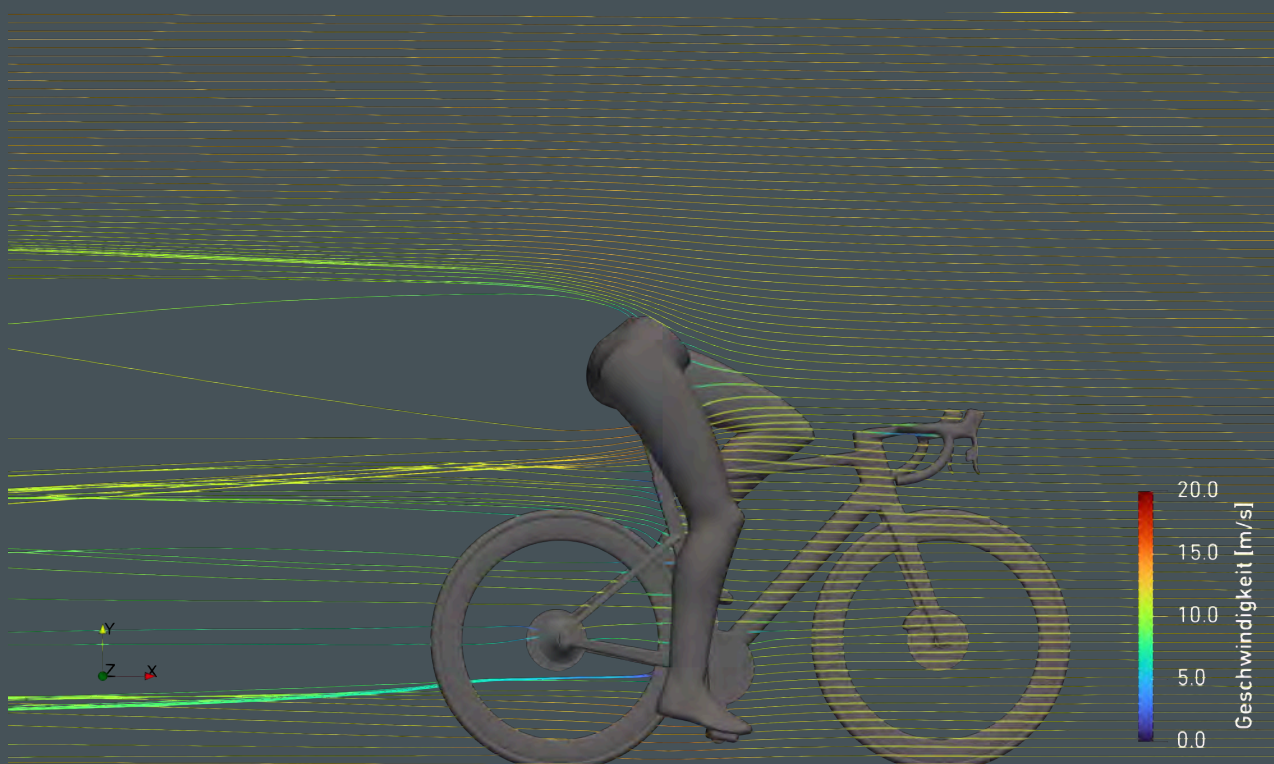


Abbildung 4: Stromlinien um das Rad und den Dummy

Entwicklung eines neuen Bike Frames

Bereits beim Vorläufer des Shave, dem Xlite, wurde in der Entwicklung des Designs auf den „Goldenen Schnitt“ geachtet. Der Fokus dabei liegt auf einem ausbalancierten Verhältnis aus dynamischen Fahreigenschaften mit kontrolliertem Handling, aerodynamischem Design bei geringem Gewicht, sowie hoher Steifigkeit und Komfort ohne Leistungseinbußen. Das erfolgreiche Konzept sollte auch auf das Shave übertragen und weiter verfeinert werden. Im ersten Schritt wurde daher eine Detailanalyse des Xlite durchgeführt, um sämtliche Teilbereiche des Rahmens auf aerodynamisches Optimierungspotenzial hin zu untersuchen.

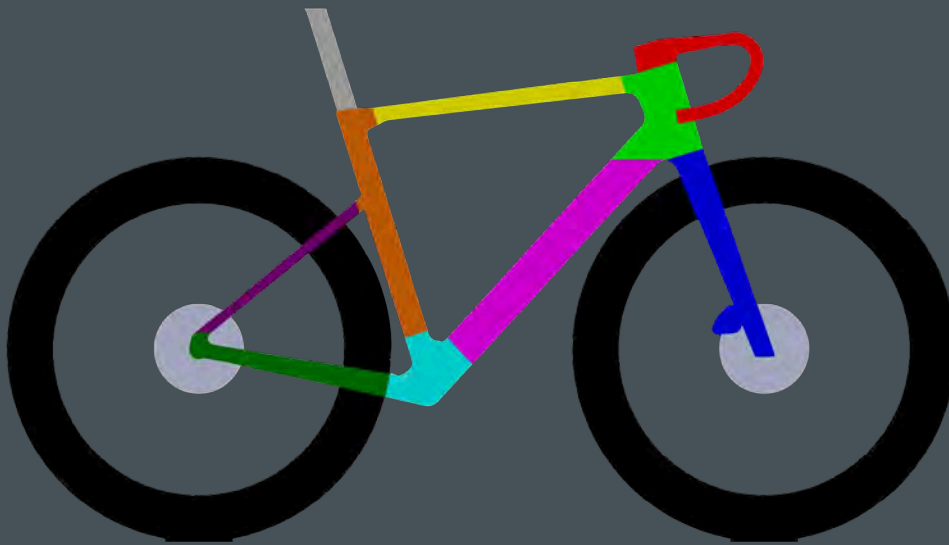


Abbildung 5: Einteilung des Gesamtradmodells in Teilbereiche

Für den ersten Neuentwurf des Rahmens wurden geeignete Profildfamilien eingesetzt, u. a. aus Luft- und Raumfahrtanwendungen. Anschließend wurde mithilfe der CFD-Prozesskette jeder einzelne Teilbereich des Rahmens (Steuerrohr, Unterrohr, Cockpit, Sitzrohr, Sattelstütze und Sitzknoten) separat betrachtet und aerodynamisch optimiert (Abb. 5). Aufgrund der engen Verzahnung von Konstruktion und Simulation innerhalb der Entwicklungsabteilung konnten in kurzer Zeit eine Vielzahl an Geometrievarianten berechnet werden.

Dieser Prozess erfolgte über mehrere Monate und in vielen Entwicklungsschleifen. Auf Basis der CFD-Ergebnisse wurden Teilbereiche immer wieder gezielt angepasst und erneut bewertet. Abbildung 6 gibt einen Einblick in den iterativen Prozess und die Entwicklung der prozentualen Wattersparnis. Die so optimierten Teilbereiche wurden anschließend zu einer finalen Konfiguration zusammengeführt – dem späteren physischen Prototyp, der im realen Windkanal getestet wurde.

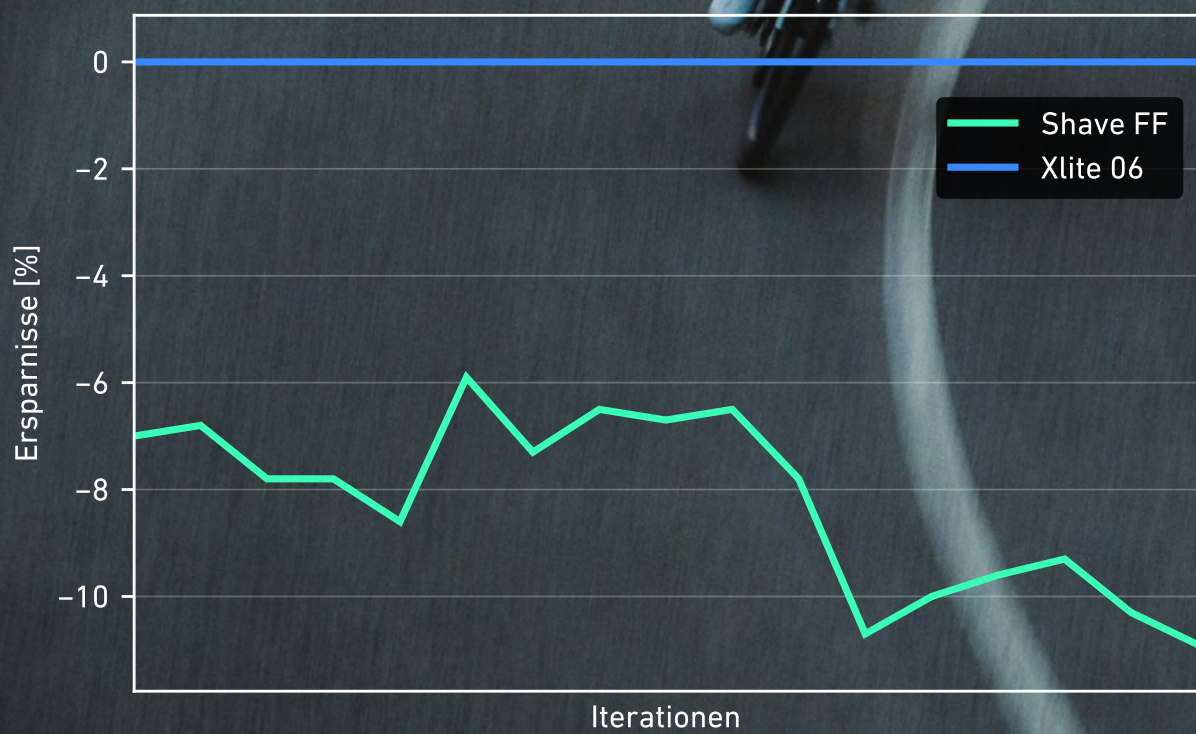


Abbildung 6: Auszug des Verlaufs des Luftwiderstandes des Rades über mehrere Entwicklungsschleifen im Vergleich zum Xlite 06

Ergebnisse im Test

Auch bei hoher Prozessorleistung und komplexer Software bleiben CFD-Simulationen immer nur eine Modellierung der physikalischen Realität. Zwischen Modellierung und Realität treten stets Abweichungen auf, sodass Tests von realen Prototypen im Windkanal weiterhin unverzichtbar bleiben, um die Simulationsergebnisse zu validieren. Im Folgenden werden die Ergebnisse aus einem Windkanalversuch dargestellt, in dem reale Testwerte des Shave FFX in Größe ML mit denen des Vorgängers Xlite 06 in Größe 57 verglichen werden.



Abbildung 7: Test-Aufbau des Shave-Prototyps im GST-Windkanal © Robert Kühnen



Aero Performance im Windkanal

Um aussagekräftige Vergleichstests im Windkanal zu ermöglichen, hat das TOUR-Magazin ein reproduzierbares Testprotokoll etabliert, welches alle relevanten Parameter berücksichtigt (Abb. 7). Dazu zählen Seitenwindverhältnisse von -20° bis $+20^\circ$, die Rotation der Laufräder sowie Beine eines Fahrerdummy, die sich mit festgelegter Trittfrequenz bewegen. Der Windkanaltest im GST-Windkanal (Immenstadt im Allgäu) wurde bei Anströmgeschwindigkeiten von 45 km/h durchgeführt.

Dabei zeigte sich eine deutliche Reduktion von 4,7 % des Gesamtwiderstands des Shave im Vergleich zum Xlite 06, was einer Ersparnis von insgesamt 10 W entspricht. In Abbildung 8 ist erkennbar, dass die Ersparnisse konstant über alle Winkel erfolgten.

	Xlite 06*	Shave FFX (ML)	Veränderung
TOUR-Verfahren (Winkanal)	215 W	205 W	-4,7 %

*TOUR-Magazin 04/23

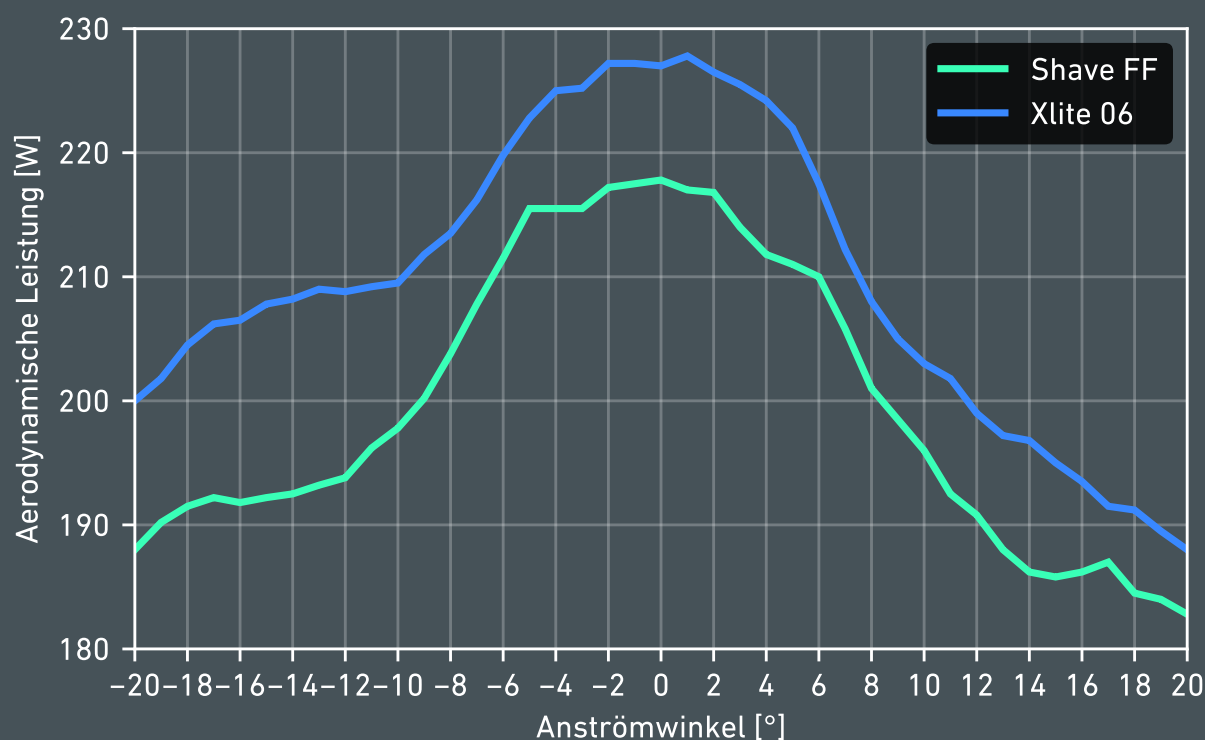


Abbildung 8: Luftwiderstandsleistung des Shave FF und Xlite 06 für Anströmwinkel von -20° bis $+20^\circ$, getestet vom TOUR-Magazin im GST-Windkanal

Die Ergebnisse aus dem Windkanaltest dienten zudem als Grundlage, um die Genauigkeit des Rose CFD-Tools zu bewerten. Bei ähnlichem Setup – die simulierten Fahrerbeine wurden statisch in zwei Positionen untersucht – und gleichen Randbedingungen zeigte sich hier eine Abweichung von nur 0,5 % gegenüber dem Windkanaltest. Die Differenz lässt sich durch unterschiedliche Konfigurationen zwischen Windkanal und CFD-Simulation erklären, z. B. bezüglich der Reifenbreite, Position der Bremshebel oder geometrische Vereinfachungen.

Veränderung Windkanal	Veränderung CFD zum Xlite 06
-4,7 %	-4,2 %*

*Diese Prozentangabe bezieht sich auf den Gesamtwiderstand inkl. Fahrerbeine und Antriebskomponenten

Der Vergleich zeigt somit, dass der intern aufgesetzte CFD-Prozess belastbare Daten erzeugen und für weitere Entwicklungen und Analysen genutzt werden kann – wie etwa detaillierte Auswertungen einzelner Komponenten, welche ein Windkanaltest nicht erbringen kann.

Komponente	Veränderung CFD mit Fahrerbeinen zum Xlite 06
Cockpit	-28,1 %
Gabel	-9,7 %
Sattelstütze	-36,7 %
Sitzrohr	-7,5 %
Sitzstreben	-16,7 %
Steuerrohr	-55,6 %
Unterrohr	-49,3 %



Steifigkeit auf dem Teststand

Die Steifigkeit von Rahmen und Gabel hat maßgeblichen Einfluss auf Bereiche wie Krafteffizienz, Fahrdynamik, Stabilität und Komfort. Früh werden deshalb relevante Steifigkeitsparameter und Zielvorgaben definiert und im Entwicklungsverlauf anhand verschiedener Versuchsreihen überprüft. Für das Shave war die Zielsetzung, die Steifigkeitswerte im Vergleich zum Vorgänger größtenteils konstant zu halten, da diese bereits beim Xlite 06 auf einem hohen Level waren. Noch während der Entwicklungsphase wurde zur Untersuchung festigkeitskritischer Komponenten ein eigenes FEM-Setup (Finite-Elemente-Methode) aufgesetzt.

Mit dieser computergestützten Analyse-methode lässt sich die Strukturmechanik des Rahmens hinsichtlich Festigkeit und Verformung unter definierten Belastungen simulieren. Entwicklungsansätze wurden somit nur dann weiterverfolgt, wenn sie sämtliche Sicherheits- und Steifigkeitsanforderungen erfüllen konnten. Anschließende Prototypen-Tests auf dem Prüfstand sollten die Zielvorgaben erfolgreich bestätigen.

Kennwert	Xlite 06 (57)	Shave FFX (ML)	Veränderung
Lenkkopfsteifigkeit	96 Nm/°	98 Nm/°	+2,1 %
Tretlagersteifigkeit	61 N/mm	59 N/mm	-3,3 %
Seitensteifigkeit Gabel	51 N/mm	50 N/mm	-2,0 %
Bremssteifigkeit Gabel	90 N/mm	92 N/mm	+2,2 %
Steifigkeit Laufrad	38 N/mm	40 N/mm	+6,1 %

Gewichtvergleich zum Xlite 06

Die Gewichte der einzelnen Komponenten lassen sich im Entwicklungsprozess meist nicht zuverlässig voraussagen, da sie sich durch Anpassungen an Steifigkeits- oder Sicherheitskennwerte noch verändern können. Trotz dieser methodischen Einschränkungen konnten im Rahmenset inkl. Laufradsatz und kleiner Anbauteile insgesamt über 450 g Gewicht eingespart werden.

Maßgeblich hierfür war u. a. die Entscheidung, beim Shave FFX Modell auf hochsteife M40X Carbonfasern zu setzen. Durch Verwendung der Ultrahochmodul-Fasern des Herstellers Toray konnte das Rahmengewicht sogar die Marke von 750 g¹ unterschreiten.

Komponente	Xlite 06 (57)	Shave FFX (ML)	Veränderung
Rahmen (RTP*)	795 g	740 g	-6,9 %
Gabel (RTP*)	330 g	370 g	+12,1 %
Cockpit	395 g	370 g	-6,3 %
Laufradsatz	1635 g	1280 g	-21,7 %
Sattelstütze	115 g	117 g	+1,7 %
Flaschenhalter	90 g (45 g+45 g)	60 g (37 g+23 g)	-33,3 %
Parts	382 g	342 g	-10,5 %
Gesamt**	3749 g	3279 g	-12,5 %

*RTP (ready to paint) bezeichnet einen Rahmen oder eine Gabel, die bereits grundiert, jedoch noch nicht lackiert sind und somit für die Endlackierung vorbereitet wurden.

**ohne Schaltgruppe, Reifen, Sattel, Lenkerband

¹Shave FFX RTP in Größe ML

Gesamtwertung

Für ein Wettkampfrad zählen Ergebnisse – und das Shave hat sie geliefert. Die Zahlen sprechen für sich: Alle Entwicklungsziele wurden verwirklicht und teils sogar übertroffen. Beim Zielkonflikt aus Aerodynamik, Steifigkeit und Gewicht hat es überall einen Vorsprung herausgefahren: 4,7 Prozent bessere Aerodynamik. 6,9 Prozent weniger Gewicht. 3,1 Prozent mehr Steifigkeit. Und die neue aerodynamische Benchmark bei den All-in-one Bikes.

Zeit, das auf den Straßen dieser Welt zu zeigen. Gemeinsam mit den Unibet Rose Rockets im professionellen Renneinsatz.

Kennwert	Xlite 06 (57)	Shave FFX (ML)	Veränderung
Aerodynamik	215 W	205 W	-4,7 %
Gewicht Kompletttrad*	7,2 kg	6,7 kg	-6,9 %
Steifigkeit**	96 Nm/°	98 Nm/°	+3,1 %
	61 N/mm	59 N/mm	
	51 N/mm	50 N/mm	
	90 N/mm	92 N/mm	
	38 N/mm	40 N/mm	

*SRAM RED AXS ohne Pedale

**Spezifische Zugehörigkeit der Steifigkeitswerte siehe Tabelle S.11



Entwicklung der RC55 – Deep Dive

Die Leitidee eines Rennrads, das aerodynamisch Maßstäbe setzt, schloss von Beginn an auch einen eigenen Laufradsatz in das Entwicklungskonzept mit ein – den RC55. Denn aus strömungsmechanischer Sicht stellen die Laufräder das komplexeste Bauteil des Gesamtsystems dar. Bereits mit der Entwicklung der RC60 (Xlite 06) und GC50 (Backroad FF) konnten hierzu wichtige Erkenntnisse gesammelt werden.

Nachfolgend soll deshalb die Entwicklung der RC55 Laufräder in einem Deep Dive vorgestellt werden, um Interessierten ein tieferes Verständnis aerodynamischer Zusammenhänge sowie konstruktiver Herausforderungen der Komponente Laufrad zu ermöglichen. Der Entwicklungsteil gibt dabei weitere Einblicke in das CFD-Engineering, die sich auch auf die Rahmenentwicklung ableiten lassen.

Lenkmoment und Einflussfaktoren

Während der Rahmen im Wesentlichen auf die Minimierung des Luftwiderstands optimiert wird, kommt bei Laufrädern eine weitere Zielgröße zum Tragen: das aerodynamische Lenkmoment. Ein Kennwert, der bei Seitenwind einen spürbaren Einfluss auf die Fahrtstabilität des Rades hat. Hervorgerufen durch eine ungleichmäßige Druckverteilung, die für alle drehbar gelagerten Komponenten des Rades gilt.

Das Laufrad spielt hierbei eine klar dominierende Rolle, einerseits aufgrund seiner großen Windangriffsfläche, andererseits durch den weiten Hebelarm zur Lenkachse. Der Effekt ist dabei stark abhängig vom Anströmwinkel des Seitenwinds. Mit steigendem Winkel wird die Luft zunächst an der Außenseite des Laufrads stärker umgelenkt und damit beschleunigt. Bei zu großen Winkeln kann die Strömung dieser Umlenkung jedoch nicht mehr folgen und löst ab – das Lenkmoment erzeugt Seitwärtsbewegungen des Laufrads und erfordert ein aktives Gegenlenken des Fahrers.

Besonders spürbar ist der Effekt bei schlagartigem Windrichtungswechsel oder wenn die Anströmung sich durch starke Lenkeinschläge in Kurven ändert. Speziell bei hoher Fahrgeschwindigkeit fühlt sich ein Laufrad mit ungünstiger Druckverteilung dann instabil und flatternd an. Bei der Auslegung des Laufrads gilt es folglich, Luftwiderstand und Lenkmoment aufeinander abzustimmen – zumal diese tendenziell gegenläufig sind. Ein Laufrad mit geringem Luftwiderstand ist somit meist anfällig gegenüber Seitenwind.

Geometrie des Laufrades

Eine wichtige Rolle spielt außerdem das Felgenprofil oder die Geometrie des Laufrads. Dessen Rotationssymmetrie bedingt eine vorder- und rückseitige Anströmung des Profilquerschnitts sowie eine mit der Höhe zunehmende Verzerrung (Abb. 9, Schnitte C-C und B-B). Der Profilquerschnitt ändert sich also über den Höhenverlauf, bis Vorder- und Rückseite aufeinandertreffen und sich zu einem Profil zusammenschließen (Abb. 9, Schnitt A-A). Ein vorne windschnittiges Profil kann bei hinterer oder seitlicher Anströmung also deutlich schlechter abschneiden.

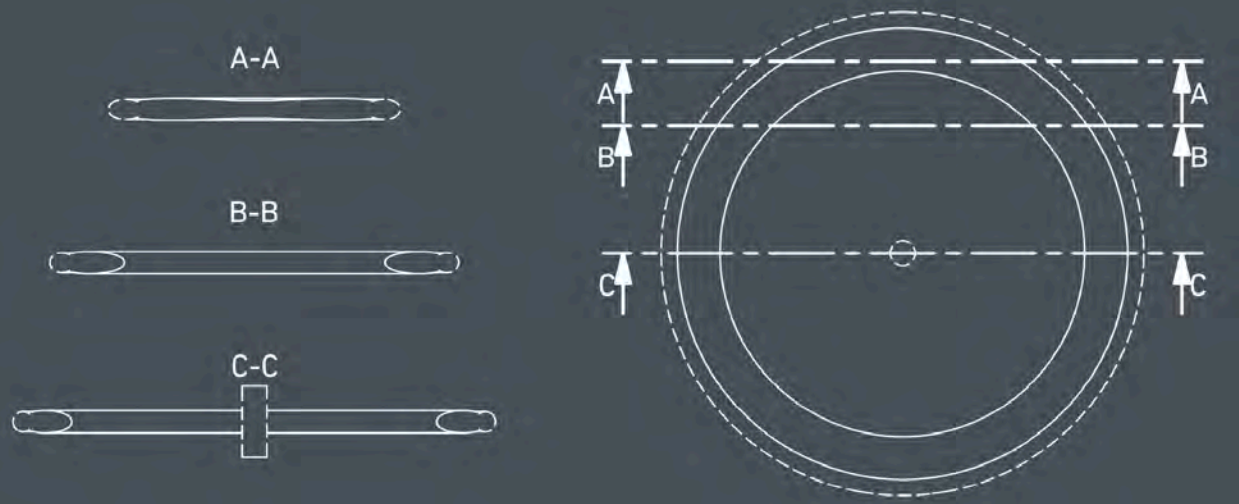


Abbildung 9: Schnittdarstellungen eines Laufrads an verschiedenen Höhen

Schließlich gilt es noch, den Reifen zu berücksichtigen, dessen Kontur vorgegeben ist und bestmöglich im Sinne einer geschlossenen Fläche vom Laufrad aufgenommen werden muss – insbesondere im rückseitigen Bereich eine konstruktive Herausforderung, die sich mit steigenden Reifenbreiten im Straßensport weiter verschärft.

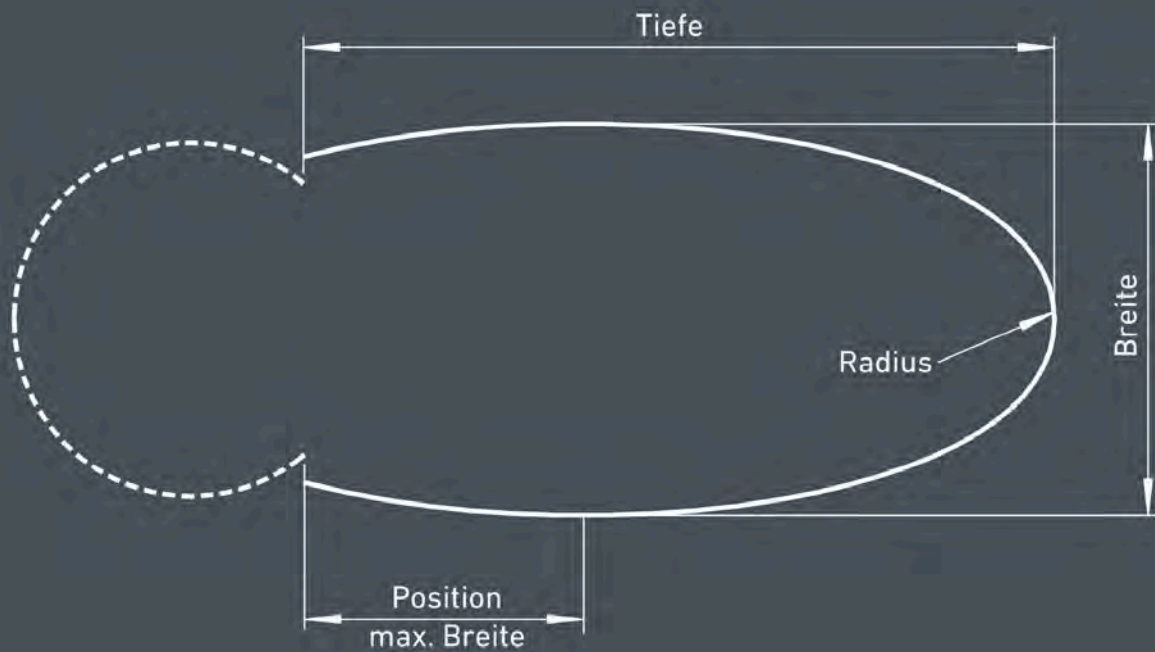


Abbildung 10: Parameter des digitalen Laufradmodells

Entwicklung und Testergebnisse

Um die komplexen Zusammenhänge vollumfänglich abzubilden, wurde ein eigenständiger Prozess entwickelt, beginnend mit der Erstellung eines digitalen Laufradmodells, welches Parameter wie Profiltiefe oder -breite flexibel anpassen kann (Abb. 10). Anschließend wurde das bestehende CFD-Setup erweitert und auf das Vorderrad adaptiert – zunächst jedoch mit einer verringerten Modellkomplexität, um die Simulation einer Vielzahl von Varianten in kürzester Zeit zu realisieren.

Die daraus abgeleiteten Erkenntnisse und Trends ermöglichten eine erste Vorauswahl, speziell hinsichtlich der Profiltiefe. Abbildung 11 veranschaulicht die klaren Tendenzen bei höheren Felgenprofilen:

- der Luftwiderstand bei frontaler Anströmung sinkt
- der Segeleffekt setzt mit kleinerem Anströmwinkel ein und steigt stärker an
- das Lenkmoment setzt mit kleinerem Anströmwinkel ein und steigt stärker an
- das Lenkmoment steigt linearer an – es setzt weniger abrupt ein

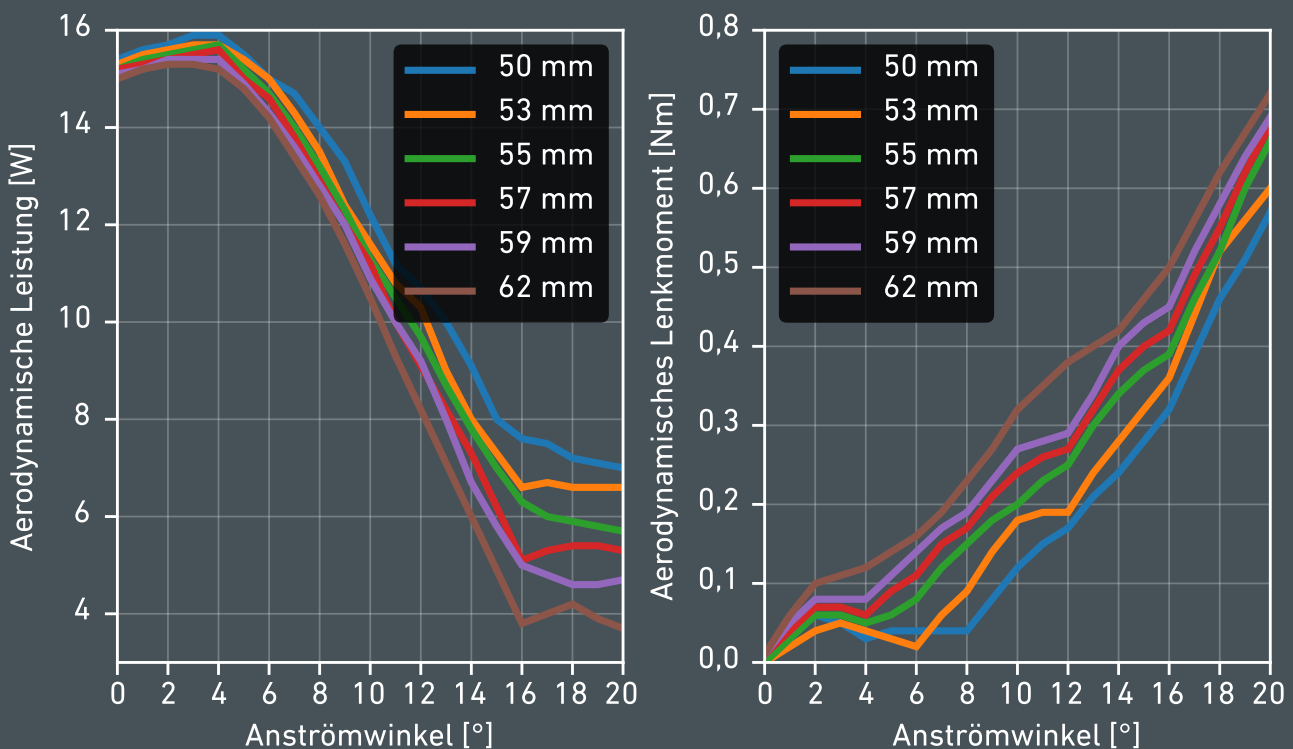


Abbildung 11: Verlauf der Luftwiderstandsleistung und des aerodynamischen Lenkmoments des vorderen Laufrads über den Anströmwinkel für verschiedene Profiltiefen

Auf Basis der Ergebnisse der ersten Entwicklungsstufe wurden optimierte Laufradprofile abgeleitet und in das Gesamtmodell integriert. Die folgende Stufe beinhaltete systematische Geometrie-Variationen, diesmal bei maximaler Genauigkeit. So konnte eine Laufradgeometrie bestimmt werden, die im Gesamtsystem den größtmöglichen aerodynamischen Vorteil bei gleichzeitig optimiertem Lenkmoment liefert.

Der Vergleich mit den RC60 zeigt, dass die Luftwiderstandsleistung dabei leicht angestiegen ist, u. a. durch die geringere Profiltiefe. Das aerodynamische Lenkmoment konnte dagegen um 50 % reduziert werden (Abb. 12).

Die Ergebnisse ließen sich auch im TOUR-Windkanaltest bestätigen. Zur besseren Vergleichbarkeit führt das TOUR-Magazin Standardtests mit Zipp 404 Laufrädern durch (58 mm Profil, mit 25 mm Continental GP5000), gefolgt von Tests mit dem Serienlaufradsatz (RC55, 55 mm Profil, mit 28 mm Schwalbe Pro One Aero). Trotz kürzeren Profils und breiteren Reifen lagen die RC55 dabei mit 205 W im Gesamtsystem nur ein Watt hinter den Zipp 404 mit 204 W. Ein Ergebnis, das als klarer Erfolg zu werten ist.

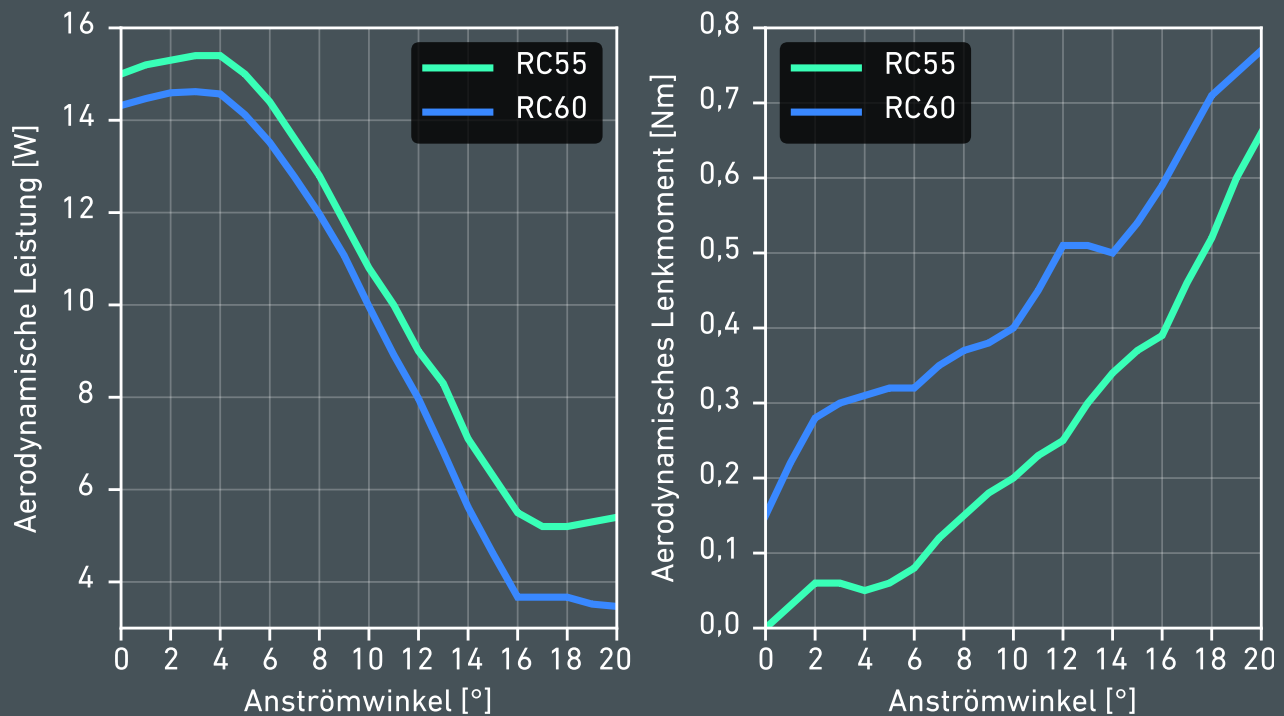


Abbildung 12: Verlauf der Luftwiderstandsleistung und des aerodynamischen Lenkmoments des vorderen Laufrads über den Anströmwinkel für den RC60 und den RC55

Sicherheit

Bei der Entwicklung eines Bike Frames wird der Zielkonflikt aus Aerodynamik, Gewicht und Steifigkeit noch durch ein viertes Kriterium ergänzt: Sicherheit. Im Unterschied zu den anderen Zielgrößen gelten für die Sicherheit des Gesamtsystems (und damit auch der Fahrer:innen) klare Vorgaben, die in Entwicklungsentscheidungen und Freigabeprozessen höchste Priorität haben.

Als Grundlage für den Sicherheitsnachweis diente die Normenreihe ISO 4210, die spezifische Anforderungen und Prüfverfahren für Fahrräder definiert. Sie umfasst sowohl statische als auch dynamische Prüfungen. Für die Bewertung struktureller Integrität sind dabei insbesondere die dynamischen Prüfungen entscheidend, da sie Aussagen über das Ermüdungs- und Impactverhalten von Rahmen und Gabel unter zyklisch sich wiederholender Belastung ermöglichen.

Über die normativen Anforderungen hinaus wurden zusätzliche Sicherheitsprüfungen durch ein unabhängiges deutsches Prüfinstitut durchgeführt. Dabei kamen nochmals erhöhte Lasten und/oder erweiterte Lastwechselzahlen zum Einsatz, um die reale Materialbeanspruchung auch in konservativ angesetzten Grenzfällen abzubilden (siehe Tabelle). Zwar können diese Tests die konstruktive Entscheidungsfreiheit hinsichtlich Leichtbau und Aero-Formgebung reduzieren; dies wurde jedoch ausdrücklich akzeptiert, um zusätzlichen Sicherheitsreserven den Vorrang einzuräumen.

	ISO 4210	Rose Anforderungen
Dynamische Prüfung mit pedalierenden Kräften	1100 N / 100.000	bis zu Faktor 1,55 höhere Belastung
Dynamische Prüfung mit vertikaler Kraft	1200 N / 50.000	bis zu Faktor 1,4 höhere Belastung
Dynamische Prüfung mit horizontaler Kraft	(+)600 N, (-)600 N / 100.000	bis zu Faktor 1,5 höhere Belastung
Stoßprüfung (fallende Masse)	22,5 kg / 212 mm	3 Fache Fallhöhe
Lenker/Vorbau Einheit dynamisch (gegenphasig)	(+/-)280 N / 100.000	über Faktor 2 in Spitzenbelastung
Lenker/Vorbau Einheit dynamisch (gleichphasig)	(+/-)400 N / 100.000	über Faktor 2 in Spitzenbelastung

Geometrie

S H A V E

Rahmengröße	XS	S	M	ML	L	XL
Sitzrohlänge (mm)	435	470	492	512	537	575
Oberrohrlänge horizontal (mm)	505	525	545	566	582	602
Steurohrlänge (mm)	123	138	157	175	196	223
Steurohrwinkel (°)	71,00	72,00	73,00	73,25	73,25	73,25
Sitzrohrwinkel (°)	75,00	74,50	74,00	73,50	73,50	73,50
Tretlager Offset (mm)	73	73	73	73	73	73
Kettenstrebenlänge (mm)	412	412	412	412	412	412
Radstand (mm)	975	982	989	1002	1020	1039
Reach (mm)	360	370	378	388	398	410
Stack (mm)	544	562	584	602	622	648
Reach+ (mm)	534	544	562	572	593	604
Stack+ (mm)	608	626	638	666	686	712
Überstandshöhe ((100 mm vor BB) mm)	748	774	796	815	837	867
Stack to Reach Verhältnis	1,51	1,52	1,54	1,55	1,56	1,58
Stack to Reach Verhältnis+	1,14	1,15	1,14	1,16	1,16	1,18
Gabel Vorlauf ((Offset) mm)	45	45	45	45	45	45
Laufgradgröße (Zoll)	700C	700C	700C	700C	700C	700C
max. Reifen Breite (mm)	36	36	36	36	36	36
Vorbaulänge (mm)	90	90	100	100	110	110
Größenempfehlung (cm)	155-166	163-173	171-179	177-184	181-191	189-200
zulässiges Gesamtgewicht (kg)	120	120	120	120	120	120

S H A V E F F

S H A V E F F X

Rahmengröße	XS	S	M	ML	L	XL
Sitzrohlänge (mm)	435	470	492	512	537	575
Oberrohrlänge horizontal (mm)	508	527	544	562	584	612
Steurohrlänge (mm)	110	120	135	155	180	205
Steurohrwinkel (°)	71,50	73,00	73,25	73,25	73,50	73,75
Sitzrohrwinkel (°)	75,50	75,00	74,50	74,00	73,75	73,50
Tretlager Offset (mm)	72	72	72	72	72	72
Kettenstrebenlänge (mm)	410	410	410	410	410	410
Radstand (mm)	969	975	985	998	1015	1038
Reach (mm)	375	385	392	400	412	430
Stack (mm)	515	532	547	567	591	616
Reach+ (mm)	550	570	587	595	617	635
Stack+ (mm)	578	595	610	630	653	678
Überstandshöhe ((100 mm vor BB) mm)	735	762	780	799	823	854
Stack to Reach Verhältnis	1,37	1,38	1,40	1,42	1,43	1,43
Stack to Reach Verhältnis+	1,05	1,04	1,04	1,06	1,06	1,07
Gabel Vorlauf ((Offset) mm)	44	44	44	44	44	44
Laufgradgröße (Zoll)	700C	700C	700C	700C	700C	700C
max. Reifen Breite (mm)	35	35	35	35	35	35
Vorbaulänge (mm)	100	100	110	110	120	120
Größenempfehlung (cm)	155-166	165-175	174-181	179-186	183-193	191-200
zulässiges Gesamtgewicht (kg)	110	110	110	110	110	110

Cockpit

Vorbau/Breite	350 mm	370 mm	390 mm	410 mm
90 mm	Shave XS, S			
100 mm	Shave FF XS, S		Shave M, ML	
110 mm	Shave FF M, ML			Shave L, XL
120 mm	Shave FF L, XL			

Vorbauwinkel: -6° Reach: 78 mm Drop: 125 mm Flare: 13° Gewicht: 370 g (370 mm / 110 mm)

Sattelstütze

Länge/Offset	0 mm	14 mm
320 mm	Shave FF XS-S	Shave XS-S
380 mm	Shave FF M-XL	Shave M-XL

Laufradaatz

Profil	55 mm
IMW	23 mm
Max. Breite	33,5 mm vorn / 30,5 mm hinten
Speichen	24 v/h RC55 (Stahl) / 21 v/h RC55CS (Carbon)
Gewicht	Gewicht: RC55 1360 g / RC55CS 1280 g