

ELF AERO-LAUFRADSÄTZE IM TEST

TUNING-TEILE



Es war der aufwendigste Test, den wir je durchgeführt haben: Wir testeten elf Aero-Laufradsätze mit Felgenhöhen von 45 bis 50 Millimetern und einer Preisspanne von 899 bis 4120 Euro im Windkanal und im Labor. Mit teils verblüffenden Ergebnissen.

Text: Dipl.-Ing. Volker Buchholz, B.Sc. Yannick Winkelmann Fotos: Volker Buchholz, Gideon Heede

Steifigkeit, Optik, Gewicht, Beschleunigung und das zulässige Fahrergewicht: Dies sind die ausschlaggebenden Kaufkriterien bei Laufrädern. Im Falle von Aero-Laufrädern kommt ein weiteres Argument hinzu: Man kann einige Watt Leistung sparen. Wie viel Watt-Spar-Potenzial bieten Aerolaufräder mit Felgenhöhen zwischen 45 und 50 Millimetern? Das war die Ausgangsfrage zu diesem Test. Wissenschaftlich durchgeführt wurden die Tests von GST-Windkanal am Bodensee und dem Fachbereich Maschinentechnik der Hochschule OWL in Lemgo.

Die Tropfenform

Seit Jahren wird beim Konstruieren und Entwerfen von Radsport-Material darauf geachtet, dass alles glattflächig und damit strömungsgünstig ist. Jede Kante und jeder Absatz verursacht Luftwirbel, die den Vortrieb bremsen. Die Rechnung ist so simpel wie logisch: Ein aerodynamisch optimiertes System „Rennrad plus Fahrer“ fährt bei gleicher Tretleistung schneller. Ein Tropfen ist dabei die strömungsgünstigste Körperform. Beispielsweise wird ein Wassertropfen im freien Fall vom Luftstrom zur optimalen Form „modelliert“. In der Natur findet man viele solcher strömungsgünstigen Beispiele, etwa bei Walen oder Kaulquappen. Ihre Körper sind tropfenförmig. Sie sind vorne rund und „bauchig“, nach hinten laufen sie spitz zu. Diese Errungenschaften der Natur machen sich auch die Ingenieure der Radindustrie zunutze: Viele Rohre moderner Rahmen sind in Strömungsrichtung oval bis annähernd tropfenförmig. Die Übergänge von Rohr zu Rohr, insbesondere im Bereich des Steuerrohrs, sind fließend und glattflächig. Aero-Laufräder besitzen hohe Felgen, Aero-Helme weisen weniger Lüftungsöffnungen auf, um eine glatte Oberfläche zu erzeugen. Aero-Trikots sitzen hauteng und faltenfrei. Ihr Ziel: Weniger Luftverwirbelungen.

Das Testfeld

Laufräder sind die Nachrüstungskomponenten Nummer Eins. Es liegt daher nahe, die Qualität ihres aerodynamischen „Vorsprungs“ gegenüber „normalen“ Laufrädern im Windkanal gründlich zu untersuchen. Im Testfeld befinden sich elf Hersteller, deren Gemeinsamkeit in folgendem bestand: eine alltagstaugliche und maßvolle Felgenhöhe von 45 bis 50 Millimetern, Clincherfelgen (für Drahtreifen), Shimano-Freilauf und für Felgenbremsen ausgelegt. Einzig bei den Laufrädern von Leeze wichen wir von dieser Vorgabe ab und orderten einen Satz mit 38 Millimeter Felgenhöhe vorn und 60 hinten.

Bei der Auswahl der Testkandidaten legten wir großen Wert auf erschwingliche Modelle und ein ordentliches Preis-Leistungs-Verhältnis. Beispielsweise hat Campagnolo zwei Modelle im Angebot, die für diesen Test geeignet sind: Bora One 50 (1876 Euro) und Bora Ultra 50 (2826 Euro). Felgen und Speichen sind bei beiden Modellen identisch,

also die Bauteile, die hauptsächlich den Luftwiderstand beeinflussen. Das teurere Modell wiegt 50 Gramm weniger, verfügt über eine hochwertigere Lagerung und die Naben sind mit Carbonhülsen leichter aufgebaut. Wie bei allen Herstellern orderten wir das günstigere Modell.

Vollcarbon vs. Hybrid

Bei Aero-Laufrädern finden wir zwei Bauweisen: Vollcarbon und Hybrid. Bei letzteren wird innen an der Alufelge ein Aeroring aus Carbon aufgeklebt. Von Vorteil sind hier das gewohnte gute Bremsverhalten der Alubremsflanken sowie der günstigere Preis. Nachteilig ist das höhere Gewicht. Bei Vollcarbon-Laufrädern sind Felge und Aeroring dagegen aus einem Stück gefertigt. Die Carbon-Bremsflanke erfordert spezielle, oftmals weichere Bremsbeläge. Die Carbon- sind leichter als Hybridmodelle, weisen aber die Nachteile eines höheren Preises und eines oftmals schlechteren Bremsverhaltens bei Nässe auf.

Viele Aeroringe sind aus aerodynamischen Gründen rund ein bis zwei Millimeter breiter als die Bremsflanke. Der Luftstrom bleibt somit insbesondere bei Seitenwind länger an der Felge, reißt also später ab. Dieser Umstand wiederum soll den Luftwiderstand minimieren. Grundsätzlich sollten Reifen und Felge zueinander passen. Die von den meisten Sportlern genutzten 25 Millimeter breiten Reifen harmonisieren am besten mit Felgen gleicher Breite, da keine Kanten am Übergang entstehen, die verlustbehaftete Luftwirbel erzeugen. Breite Reifen auf schmaler Felge sind dabei die schlechtmöglichste Kombination.

Im Windkanal

Alle Windkanal-Tests der Laufräder fanden bei GST in Immenstaad am Bodensee statt. Namhafte Firmen wie Cube und Canyon prüfen und entwickeln dort regelmäßig ihre Prototypen. Die technischen Bedingungen sind ideal. Es sind mehrere Prüfstände für Radsporttechnik vorhanden. Die Messtoleranz von +/- 0,2 Watt spricht für sich. Unser Versuchsaufbau sah wie folgt aus: Ein Aero-Rennrad ohne Fahrer, in unserem Fall das Modell Aeroad CF SLX von Canyon, Windgeschwindigkeit 45 Kilometer pro Stunde. Die Laufräder werden mit gleicher Geschwindigkeit angetrieben. Gemessen wird der Luftwiderstand, aus dem die benötigte Leistung berechnet wird. Für jede Messung zogen wir die gleichen Reifen (Continental GP 4000 S II) auf, da bereits unterschiedliche Reifen gleichen Typs die Ergebnisse um ein Watt beeinflussen können. Für Zeitfahrer und Triathleten sind 45 Kilometer pro Stunde bei allen Messungen und Diskussionen die Bezugsgeschwindigkeit. Für viele Hobbyfahrer sind solche Geschwindigkeiten „realitätsfern“. Wir rechneten die Ergebnisse demnach auch auf 35 Kilometer pro Stunde herunter. Mit diesem Versuchsaufbau ergaben sich im Windkanal für die elf Aero-Laufräder Leistungen von 74 bis 78 Watt (bei 45 km/h, gewichtete Leistung). Konkret bedeutet dies: Die schnellsten

Aero-Laufräder sparen gegenüber den langsamsten vier Watt. Mindestens genauso spannend ist die Frage: Was bringen diese Aero-Laufräder im Vergleich zu Standard-Laufrädern mit flacher Felge? Deshalb bestückten wir das Testrad Canyon Aeroad CF SLX mit einem Laufradsatz DT Swiss R24 Spline, der eine Felgenhöhe von 24 Millimetern aufweist. Hier notierten wir 82 Watt. Unsere elf Testkandidaten benötigen also vier bis acht Watt weniger. Zur Vervollständigung sei hier angemerkt, dass ein Versuchsaufbau mit einem Fahrer rund 420 und 210 Watt (45/35 km/h) ergeben hätte, die Leistungsunterschiede zwischen den Laufradsätzen wären aber identisch. Die Besonderheit des GST-Prüfstands besteht darin, dass der komplette Versuchsaufbau während der Messungen von minus bis plus 20 Grad gedreht werden kann, um

auch die Seitenwindverhältnisse abzubilden. Einschließlich der Frontalanströmung (null Grad) erhalten wir für jedes Grad einen Messwert. Doch welcher Winkel mit der dazugehörigen Leistung charakterisiert ein Aero-Laufrad am besten? Auch hier hat GST die optimale Lösung parat. Das Auswertungs-Programm berechnet die „gewichtete Leistung“ in Abhängigkeit vom Anströmwinkel.

Das bedeutet, die einzelnen Winkel mit den dazugehörigen Leistungen werden in dem Maße prozentual gewichtet, wie sie draußen auf der Straße vorkommen. Gewiss wird null Grad am häufigsten vorkommen und viel höher gewichtet werden als 20 Grad. In unseren Testbriefen und Berechnungen arbeiten wir mit den gewichteten Leistungen. Im nebenstehenden Diagramm „Leistungsbedarf über Anströmwinkel“



Oben: Der Versuchsaufbau im Windkanal mit dem Testrennrad, einem Canyon Aeroad. Mitte: Unterschiedliche Felgenformen und -breiten bei Lightweight und DT Swiss ARC. Unten: Hybrid-Laufräder von Shimano (vorne) und Mavic (hinten).

„DIE SCHNELLSTEN AERO-LAUFRÄDER SPAREN GEGENÜBER DEN LANGSAMSTEN VIER WATT. SENKT EIN FAHRER SEINEN KOPF UM ZEHN MILLIMETER, SO SPART ER RUND FÜNF WATT.“

haben wir für vier anschauliche Laufradsätze die komplette Leistungskurve dargestellt. Die obere, blaue, gehört zu den flachen Standard-Laufrädern, DT Swiss R24 Spline. Hier nimmt die benötigte Leistung stetig mit einem zunehmenden Anströmwinkel zu. Ähnlich verläuft die orangene Kurve darunter von den Lightweight Meilenstein mit einer Felgenhöhe von 47,5 Millimetern. Zur Ehrenrettung von Lightweight müssen wir hier betonen, dass diese Felgen keine Aerolaufräder im eigentlichen Sinn sind, sondern Berglaufräder mit hohen Felgen, die spitz zulaufen. Dies wiederum bringt Vorteile bei Gewicht und Stabilität mit. So ist es nicht verwunderlich, dass die Meilenstein-Laufräder bei den Kriterien Gewicht und Beschleunigung die Mitbewerber mit großem Abstand deklassieren, aber beim Leistungsbedarf zur Überwindung des Luftwiderstands den höchsten Wert des Testfeldes verzeichnen. Das allgemeine Dilemma lässt sich anhand der Meilenstein-Felgen beispielhaft beschreiben: Es existiert kein Laufradsatz, der in allen Disziplinen des Radsports hervorragende Messwerte liefert.

Die beiden unteren Kurven von DT Swiss „ARC 1100 Dicut“ und Mavic „Cosmic Pro Carbon“ zeigen eindrucksvoll den „Segeffekt“: Bei mittleren Anströmwinkeln im Bereich von sechs bis 14 Grad sinkt der Leistungsbedarf, weil die Strömung an der breiten und „bauchigen“ Aerofelge einen Schub erzeugt anstatt zu „bremsen“. Auch gut zu sehen: Bei null Grad liegen zwischen den Testkandidaten nur 1,5 Watt Unterschied, im Bereich des „Segeffektes“ jedoch ganze zehn Watt (zwischen Mavic und Lightweight). Grundsätzlich – und über diesen Test hinaus – lässt sich festhalten: Mit der Höhe von Aero-Felgen sinkt der Leistungsbedarf, der Segeffekt nimmt zu und vergrößert sich weiter, hin zu höheren Anströmwinkeln. Der Kontrapunkt: Allerdings nimmt mit der Felgenhöhe die Seitenwindempfindlichkeit deutlich zu.

Die Besonderheiten

Die Leistungskomponente Aerodynamik an Rennrädern und Laufrädern ist ein überaus komplexes Thema. Dazu einige weitere Beispiele: Senkt ein Rennrad-Fahrer seinen Kopf um zehn Millimeter, so spart er rund fünf Watt. Dünne Vorderrad-Naben sparen gegenüber dicken rund ein Watt. Innenliegende Speichennippel sparen 0,5 Watt. Wird auf Aero-Laufräder umgerüstet, so ist der entstehende Leistungsgewinn zu rund 80 Prozent dem Vorderrad zuzuschreiben, nur 20 Prozent dem Hinterrad, da es im Windschatten des Sitzrohres dreht. Alle Beispiele beziehen sich auf eine Geschwindigkeit von 45 Kilometern pro Stunde. Im Windkanal blieb zudem noch Zeit, die Frage zu klären: Bringen schmalere Reifen einen aerodynamischen Vorteil? Wir montierten dazu an zwei Laufradsätzen schmalere Reifen. Die DT Swiss ARC 1100 Dicut und die Swiss Side Hadron Classic 485 – beide mit 23,5 Millimetern Felgenbreiten an den Bremsflanken und 24,5 Millimetern am Aëroring – bestückten wir mit dem Continental-Reifen-Duo „Attack & Force“. Die Reifenbreite betrug dabei vorne 23 Millimeter und hinten 25 Millimeter. Ergebnis: Bei den DT-Swiss-Laufrädern stellte sich ein Gewinn gegenüber den Continental GP 4000 S II von 1,9 Watt ein, bei den Swiss-Side-Laufrädern ein Plus von 1,1 Watt (bei 45 km/h).

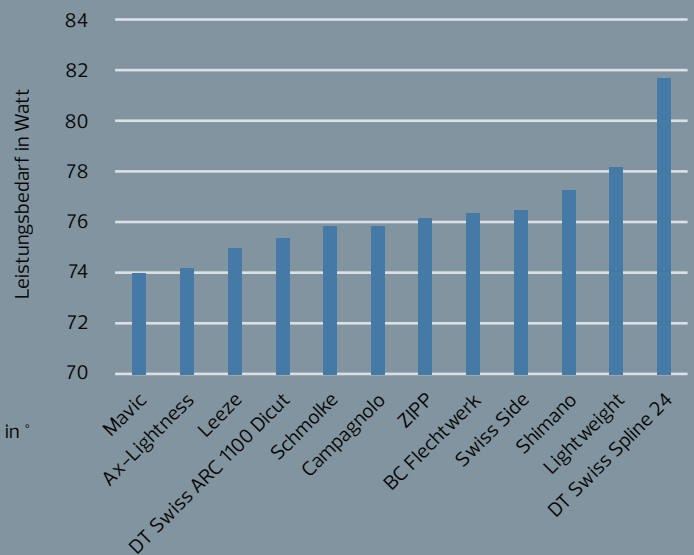
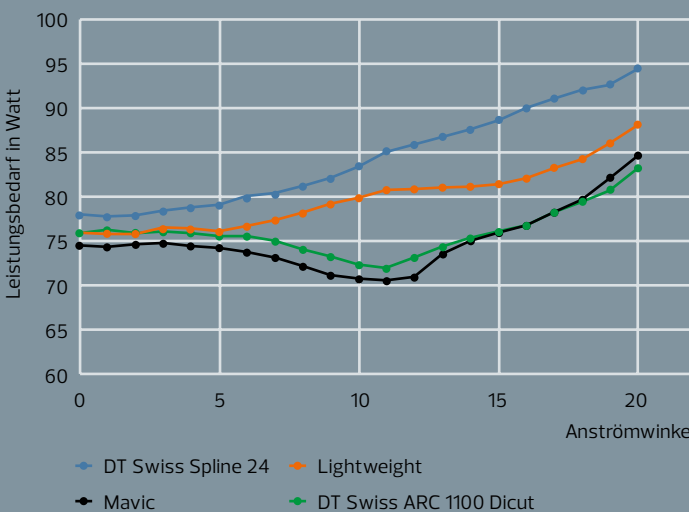
Das Fazit

Wer ist nun der Testsieger? Dazu gibt es viele Kriterien. Im Windkanal lagen Mavic und Ax-Lightness praktisch gleichauf auf Platz eins. Das starke Mittelfeld folgt mit Leeze, DT Swiss, Schmolke, Campagnolo, Zipp, Bike-Components und Swiss Side. Es ist sicher kein Zufall, dass die beiden Letztplatzierten dieser Wertung die schmalsten Felgen besitzen: Shimano mit 22 Millimetern und Lightweight mit 20 Millimetern. Inzwischen bietet Lightweight die Meilenstein-Modelle jedoch auch in 24 Millimetern Breite an. Der Sieg in Sachen Gewicht und Beschleunigung geht eindeutig an Lightweight. Sie sind als Berglaufräder die erste Wahl für Alpenmarathons oder höhenmeterreiche Rennen – wobei der sehr hohe Preis leider ein großer Wermutstropfen ist. Schwergewichtige Fahrer finden bei Shimano, Campagnolo und Zipp Stabilität und hohe Werte beim maximal zulässigen Fahrergewicht.

Es gilt demnach: Wer regelmäßig schnell in hügeligem Terrain unterwegs ist, sollte neben den Windkanal-Ergebnissen auch die Gewichte beachten. Somit sind „die besten“ Laufräder immer die, die zu den eigenen Bedürfnissen passen. //

DIE MESSUNGEN

LEISTUNGSBEDARF ÜBER DEN ANSTRÖMWINKEL



DIE TESTLEITER

Diplom-Ingenieur Volker Buchholz arbeitet hauptsächlich als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule OWL in Lemgo im Fachbereich Maschinentechnik und Mechatronik. Seine Arbeit umfasst die Bereiche Leichtbau, Leichtfahrzeuge und Werkstoffkunde. In seiner Freizeit sitzt er oft und gerne auf dem Rennrad und kann auf eine sechsstellige Lebenskilometerzahl zurückblicken. Co-Autor Yannick Winkelmann ist Masterstudent im Fachbereich Maschinentechnik der Hochschule OWL mit Schwerpunkt Fluidodynamik (Strömungslehre). Privat fährt er A-Lizenz-Rennen für den RSV Gütersloh. Was lag demnach näher, als ein spannendes Thema aus der Radsport-Technik in einer Studienarbeit zu bearbeiten?

Weitere Informationen zu den Prüflaboren:
www.hs-owl.de/fb6 | www.gst-windkanal.de

DIE MECHANISCHEN MESSUNGEN

Die Gewichte der Laufräder beinhalten auch die Felgenbänder, Herstellerangaben sind ohne Felgenbänder. Bei der Seitensteifigkeit belasteten wir die Felge seitlich mit 5 Kilogramm und notierten die Auslenkung, daraus ergibt sich die Seitensteifigkeit in Newton pro Millimeter. Ein sehr guter Wert von 30 N/mm besagt: Man benötigt eine Kraft von 30 Newton (ca. 3 Kilogramm), um die Felge seitlich um einen Millimeter zu drücken, hohe Werte sind also besser als kleine. Bei den Hinterrädern geben wir zwei Werte an, denn rechts stehen die Speichen aufgrund der Kasette steiler. Bei Steifigkeiten von unter 25 N/mm leidet die Lenkpräzision etwas,

das Rennrad läuft auch Längs-Spurrillen hinterher. Beim ausgeprägten Wiegetritt schleifen manchmal auch die Bremsbeläge an der Felge, besonders bei schweren Fahrern. Beim Komforttest belasteten wir die Laufräder ohne Reifen senkrecht mit 100 Kilogramm, die Nachgiebigkeit oder Elastizität, gemessen an der Achse, ist in Millimetern angegeben. Laufräder mit großen Werten sind komfortabler als Exemplare mit kleinen.

Bei der Beschleunigung geben wir die Energie in Joule an, die nötig wird, um ein Laufrad ohne Reifen von Null auf 30 Kilometer pro Stunde zu beschleunigen. Je kleiner der Energie-Wert ist, desto besser die Beschleunigung. Diese geringe Energie spricht etwa für leichte Berg-Laufräder.

AX-LIGHTNESS

SELECTION 45C



Preis: 1999 Euro
Gesamtgewicht: 1430 Gramm
Felgenmaterial: Vollcarbon
Felgenhöhe: 45,2 Millimeter
Felgenbreite (außen): 25,0 Millimeter

Plus + gute Aerodynamikwerte
 + geringes Gewicht
 + Beschleunigung

Minus - Seitensteifigkeit Vorderrad
 - Preis

Fazit: Zweiter Sieger im Windkanal, sehr leichter Laufradsatz. Die Seitensteifigkeiten könnten besser sein.

BIKE-COMPONENTS

FLECHTWERK 45 EVO ROAD CARBON



Preis: 899 Euro
Gesamtgewicht: 1433 Gramm
Felgenmaterial: Vollcarbon
Felgenhöhe: 45,3 mm
Felgenbreite (außen): 25,0 Millimeter

Plus + geringes Gewicht
 + gute Beschleunigung
 + attraktiver Preis

Minus - Seitensteifigkeit Vorderrad

Fazit: Sehr preiswert, sehr leicht. Die Seitensteifigkeiten könnten jedoch etwas besser sein.



Preis: 1876 Euro
Gesamtgewicht: 1456 Gramm
Felgenmaterial: Vollcarbon
Felgenhöhe: 50 Millimeter
Felgenbreite (außen): 24,2 Millimeter

Plus + geringes Gewicht
 + Stabilität
 + Max. Fahrergewicht

Minus - Preis

Fazit: Leichter & stabiler Allround-Laufradsatz mit guten Aero-Werten. Allerdings zu seinem Preis.

CAMPAGNOLO

BORA ONE 50



Preis: 2388 Euro
Gesamtgewicht: 1524 Gramm
Felgenmaterial: Vollcarbon
Felgenhöhe: 48,5 Millimeter
Felgenbreite (außen): 23,5 Millimeter

Plus + gute Aerodynamikwerte
 + Stabilität / Steifigkeit

Minus - Preis

Fazit: In allen Messbereichen gut platziert. Stabil. Viertbestes Ergebnis bei den Windkanal-Tests.

DT SWISS

ARC 1100 DICUT 48



LEEZE

CC 38.60



Preis: 1259 Euro
Gesamtgewicht: 1536 Gramm
Felgenmaterial: Vollcarbon
Felgenhöhe: 38 / 60 Millimeter
Felgenbreite (außen): 26,0 Millimeter

- Plus**
- + gute Aerodynamikwerte
 - + attraktiver Preis
 - + inkl. Continental-Reifen
 - + Hybrid-Variante erhältlich
- Minus**
- Seitensteifigkeit Hinterrad

Fazit: Laufradsatz mit dem drittbesten Ergebnis im Windkanal und einem attraktiven Preis.

LIGHTWEIGHT

MEILENSTEIN CLINCHER C20 C



Preis: 4120 Euro
Gesamtgewicht: 1196 Gramm
Felgenmaterial: Vollcarbon
Felgenhöhe: 47,5 Millimeter
Felgenbreite (außen): 20 Millimeter

- Plus**
- + geringes Gewicht
 - + gute Beschleunigung
 - + Seitensteifigkeit Vorderrad
- Minus**
- sehr hoher Preis
 - Aerodynamikwerte

Fazit: Top-Berglaufräder mit absoluten Spitzenwerten bei Gewicht & Beschleunigung. Leider sehr teuer.



Preis: 1099 Euro
Gesamtgewicht: 1765 Gramm
Felgenmaterial: Hybrid / Alu
Felgenhöhe: 45,5 Millimeter
Felgenbreite (außen): 24,0 Millimeter

Plus + beste Aerodynamikwerte
 + attraktiver Preis

Minus - Seitensteifigkeit Vorderrad
 - Gewicht & Beschleunigung

Fazit: Der Sieger im Windkanal, dafür etwas schwerer. Mit einem sehr guten Preis-Leistungsverhältnis.



MAVIC COSMIC PRO CARBON



Preis: 1780 Euro
Gesamtgewicht: 1341 Gramm
Felgenmaterial: Vollcarbon
Felgenhöhe: 45 Millimeter
Felgenbreite (außen): 25,0 Millimeter

Plus + geringes Gewicht
 + gute Beschleunigung
 + Tune-Naben

Minus - Preis

Fazit: Sehr leichter Laufradsatz mit Spitzenwerten bei der Beschleunigung und guten Werten im Windkanal.



SCHMOLKE SL 45 CLINCHER



SHIMANO

DURA ACE WH-R9100-C60-CL



Preis: 1899 Euro
Gesamtgewicht: 1860 Gramm
Felgenmaterial: Hybrid / Alu
Felgenhöhe: 50 Millimeter
Felgenbreite (außen): 22,2 Millimeter

Plus + Stabilität / Steifigkeit
 + ohne Gewichtsbeschränkung
Minus - Aerodynamik
 - Gewicht
 - Beschleunigung

Fazit: Stabiler, aber recht schwerer
Lafradsatz mit schmalem Felgenprofil.
Ideal für schwerere Sportler.

SWISS SIDE

HADRON CLASSIC 485



Preis: 1498 Euro
Gesamtgewicht: 1697 Gramm
Felgenmaterial: Vollcarbon
Felgenhöhe: 48,5 Millimeter
Felgenbreite (außen): 23,5 Millimeter

Plus + attraktiver Preis
 + DT-Swiss-Naben
 + beste Seitensteifigkeiten
Minus - kein Leichtgewicht

Fazit: Ein sehr steifer Vollcarbon-
Lafradsatz ohne echte Schwächen. Der
Preis ist fair.



Preis: 1530 Euro
Gesamtgewicht: 1714 Gramm
Felgenmaterial: Vollcarbon
Felgenhöhe: 45 Millimeter
Felgenbreite (außen): 25,5 Millimeter

Plus + max. Fahrergewicht
 + fairer Preis
Minus - Potenzial bei Aerodynamikwerten
 - Gewicht

Fazit: Ein Laufradsatz mit hohem zulässigen Fahrergewicht und Messwerten im Mittelfeld. Relativ fairer Preis.

ZIPP

302 CARBON CLINCHER



CORRECTED. PROTECTED. PERFORM!

uvex sportstyle RX –
 Sportbrillen mit Sehstärke.

Die **uvex sportstyle RX Sportbrille** ist der perfekte Begleiter bei allen sportlichen Aktivitäten: Jede Brille wird exakt auf die Sehstärke sowie individuelle Parameter abgestimmt – für gestochen scharfe Sicht und optimalen Schutz.

Jetzt auch für schmale Gesichtsformen.
 Ab sofort bei Ihrem Optiker!



uvex

Anne Haug

Anne Haug
 Deutsche Meisterin 2013
 Triathletin des Jahres 2012 & 2013
 Olympionikin 2012 & 2016

AERODYNAMIK, STEIFIGKEIT,

RennRad
MAGAZIN

KAUF-TIPP

6/2018

RennRad
MAGAZIN

KAUF-TIPP

6/2018

Fabrikat	SHIMANO	DT SWISS	MAVIC	SWISSIDE	LEEZE
Website	www.paul-lange.de	www.dtswiss.com	www.mavic.de	www.swisside.com	www.leeze.de
Modell	Dura Ace WH-R9100-C60-CL	DT Swiss ARC 1100 Dicut 48	Cosmic Pro Carbon	Hadron Classic 485	CC 38.60
Preis (empfohlener VK)	1899 Euro	2388 Euro	1099 Euro	1498 Euro	1259 Euro
Lieferumfang	SSP (127 g), Wkz, R10, Vvl	SSP (87 g), Wkz, R10, Bb, Tubelessventile, 2Lrt	2 Mavic-Reifen, SSP (125g), R10, Wkz	SSP (118 g), Bb, Tubelessventile	2 Reifen Conti GP 4000S II, R10, Bb
Gewicht (VR / HR / gesamt)	839 / 1021 / 1860 g	694 / 830 / 1524 g	786 / 979 / 1765 g	777 / 920 / 1697 g	651 / 885 / 1536 g
Seitensteifigkeit (vorn // hinten)	31,2 // 28,0 / 27,3 N/mm	33,8 // 29,9 / 32,5 N/mm	22,2 // 25,3 / 26,1 N/mm	33,1 // 33,4 / 33,1 N/mm	32,7 // 24,5 / 25,2 N/mm
Nachgiebigkeit = Komfort	0,60 / 0,49 mm	0,54 / 0,73 mm	0,79 / 0,80 mm	0,71 / 0,67 mm	0,75 / 0,87 mm
Beschleunigung, 0 - 30 km/h	20,4 / 21,6 / 42,0 J	17,7 / 18,3 / 36,0 J	19,7 / 20,5 / 40,2 J	17,1 / 17,8 / 34,9 J	16,6 / 18,1 / 34,7 J
Anzahl Speichen	16 / 21	20 / 24	16 / 20	20 / 24	18 / 24
Speichenbreite u. -dicke	2,7 / 1,0 mm	2,2 / 1,0 mm	3,5 / 0,9 mm	2,2 / 1,3 mm	2,2 / 1,0+1,2 mm vo+hi
Bauweise / Bremsfläche	Hybrid / Alu	Vollcarbon	Hybrid / Alu	Vollcarbon	Vollcarbon
Felgenhöhe	50,0 mm	48,5 mm	45,5 mm	48,5 mm	38 / 60 mm
Felgenbreite Bremsfläche / max. Breite	22,2 mm	23,5 / 24,5 mm	24 mm	23,5 / 24,5 mm	26,0 / 27,2 mm
Freilaufgeräusch	leise	mittel	mittel	laut	mittel
Max. Fahrergewicht	ohne Gewichtsbeschränkung	max. Systemgewicht: 100 kg	max. Systemgewicht: 120 kg	100 kg	100 kg
Gewichtete Leistung bei 35 km/h / Gewinn gegenüber Standard-LRS	36,4 / 2,1 W	35,4 / 3,0 W	34,8 / 3,6 W	36,0 / 2,5 W	35,3 / 3,2 W
Zeitgewinn auf 100 km flach gegenüber Standard-LRS bei 35 km/h (Zeit)	33 s (2:50:53 h)	48 s (2:50:38 h)	58 s (2:50:28 h)	39 s (2:50:47 h)	50 s (2:50:36 h)
Gewichtete Leistung bei 45 km/h / Gewinn gegenüber Standard-LRS	77,3 / 4,4 W	75,3 / 6,4 W	74,0 / 7,7 W	76,5 / 5,2 W	75,0 / 6,7 W
Zeitgewinn auf 100 km flach gegenüber Standard-LRS bei 45 km/h (Zeit)	28 s (2:12:52 h)	40 s (2:12:40 h)	48 s (2:12:32 h)	33 s (2:12:47 h)	42 s (2:12:38 h)
Fazit:	Stabil, robust und recht schwer, gut für schwerere Sportler geeignet	In allen Disziplinen gut platziert, vierbestes Ergebnis im Windkanal	Sieger im Windkanal, etwas schwer, sehr gute Preis-Leistung	Vollcarbon-Laufradsatz ohne Schwächen, fairer Preis	Drittbestes Ergebnis im Windkanal, gut bei Gewicht & Preis

Wie sind nun die Ergebnisse in den einzelnen Testbriefen zu verstehen? Wir geben die gewichteten Leistungen der Laufräder des „Canyon Aeroad-Versuchsaufbaus“ an. In der gleichen Zeile finden Sie den Leistungsgewinn gegenüber den flachen Standard-Laufrädern DT Swiss R24 Spline. Beides rechneten wir auf 35 Kilometer pro Stunde herunter, diese Leistungen sind überproportional klein, da der Leistungsbedarf in der dritten Potenz mit der Geschwindigkeit steigt. Ein extremes Beispiel: Eine Verdoppelung der Geschwindigkeit erfordert die achtfache Leistung ($2^3 = 8$).

ALLE LAUFRÄDER AUF EINEN BLICK

RennRad
MAGAZIN

RACE-TIPP

6/2018

LIGHTWEIGHT	CAMPAGNOLO	SCHMOLKE CARBON	BIKE-COMPONENTS	AX-LIGHTNESS	ZIPP
www.lightweight.info	www.campagnolo.com	www.schmolke-carbon.de	www.bike-components.de	www.ax-lightness.com	www.sram.com/de
Meilenstein Clincher C 20 C	Bora One 50	SL 45 Clincher	Flechtwerk 45 Evo Road Carbon	Selection 45 C	302 Carbon Clincher
4120 Euro	1876 Euro	1780 Euro	899 Euro	1999 Euro	1530 Euro
2 Reifen Conti GP 4000 S II, SSP (43 g), Wkz, Bb, 1Lrt	SSP (120 g), Wkz, R10, Vvl, Bb, 2 Lrt	R10, Bb, 1Lrt	SSP (46 g), Bb, 4 Ersatzspeichen u. -nippel	SSP (46 g), Bb, R10	SSP (87 g), Wkz, R10, Vvl, Bb
531 / 665 / 1196 g	635 / 821 / 1456 g	608 / 773 / 1341 g	644 / 789 / 1433 g	628 / 802 / 1430 g	770 / 944 / 1714 g
38,0 // 27,9 / 28,7 N/mm	31,4 // 36,1 / 29,5 N/mm	27,3 // 23,0 / 29,9 N/mm	22,8 // 25,2 / 25,5 N/mm	18,9 // 25,3 / 26,7 N/mm	34,5 // 25,3 / 27,1 N/mm
0,62 / 0,79 mm	0,72 / 0,87 mm	0,90 / 0,93 mm	0,66 / 1,11 mm	0,85 / 0,84 mm	0,75 / 0,77 mm
12,6 / 14,7 / 27,3 J	16,1 / 17,6 / 33,7 J	15,0 / 16,0 / 31,0 J	15,7 / 16,1 / 31,8 J	15,8 / 16,2 / 32,0 J	17,3 / 18,9 / 36,2 J
16 / 20	18 / 21	20 / 24	20 / 24	20 / 24	20 / 24
5,2 / 1,7; 5,5 / 2,0 mm	2,0 / 1,0 mm	2,2 / 1,0 mm	2,2 / 1,3 mm	2,2 / 1,0 mm	2,2 / 1,2 mm
Vollcarbon	Vollcarbon	Vollcarbon	Vollcarbon	Vollcarbon	Vollcarbon
47,5 mm	50 mm	45 mm	45,3 mm	45,2 mm	45 mm
20 mm	24,2 mm	25,0 / 26,6 mm	25 / 27 mm	25,0 / 26,5 mm	25,5 / 26,4 mm
leise	leise	mittel	laut	leise	mittel
max. Systemgewicht: 120 kg	109 kg	max. Systemgewicht: 110 kg	100 kg	100 kg	115 kg
36,8 / 1,7 W	35,7 / 2,7 W	35,7 / 2,7 W	36,0 / 2,5 W	34,9 / 3,5 W	35,9 / 2,6 W
26 s (2:51:00 h)	43 s (2:50:42 h)	43 s (2:50:42 h)	40 s (2:50:46 h)	56 s (2:50:30 h)	41 s (2:50:45 h)
78,2 / 3,5 W	75,9 / 5,8 W	75,9 / 5,8 W	76,4 / 5,3 W	74,2 / 7,5 W	76,2 / 5,5 W
22 s (2:12:58 h)	36 s (2:12:44 h)	36 s (2:12:44 h)	33 s (2:12:47 h)	47 s (2:12:33 h)	35 s (2:12:45 h)
Spitzenwerte bei Gewicht und Beschleunigung. Leider sehr teuer	Leicht, schnell & stabil, gute Aero-Werte, gute robuste Allrounder	Sehr leicht, sehr gute Beschleunigung und gute Aero-Werte	Preiswert, sehr leicht, die Seitensteifigkeiten könnten besser sein	Platz 2 im Windkanal, sehr leicht, kleinere Steifigkeitsprobleme	Hohes zulässiges Fahrergewicht, mittlere Messwerte, fairer Preis

Um die Ergebnisse auch praxisingerecht zu veranschaulichen, verrechneten wir die Leistungsgewinne auf einen realen Fall: ein „normales“ Rennrad (Radon „Ignite“) mit den flachen Standard-Laufrädern aus diesem Test und einem Fahrer in Unterlenkerposition mit gestreckten Armen. In den Testbriefen finden Sie den Zeitgewinn der Aero-Laufräder gegenüber den Standard-Laufrädern auf flachen 100 Kilometern sowie die gefahrene Zeit, jeweils für eine 35er und eine 45er Durchschnittsgeschwindigkeit. Systemgewicht = Rennrad plus Fahrer; **Legende:** Ssp = Schnellspanner, Wkz = Werkzeug, R10 = Distanzring für 10-fach-Kassetten, Vvl = Ventilverlängerung, Lrt = Laufradtaschen, Bb = Bremsbeläge, LRS = Laufradsatz,