



# Triatloneinteiler – Die Herausforderung, die Leistungsfähigkeit in drei unterschiedlichen Disziplinen mit nur einem Kleidungsstück zu optimieren | 1

1. **Einleitung**
2. **Schwimmen**
  1. Regeln
  2. Technische Möglichkeiten
3. **Radfahren**
  1. Regeln
  2. Technische Möglichkeiten
4. **Laufen**
  1. Regeln
  2. Technische Möglichkeiten
5. **Fazit**

## **EINLEITUNG**

Triathlon ist ein Sport von stark wachsender Beliebtheit. Laut statista.com (2019) ist die Zahl der Teilnehmer rund um die Welt zwischen 2006 und 2017 um 3,12 Millionen gestiegen, was einem Wachstum von 439% entspricht. Im Jahr 2015 gab der Triathlon-Veranstalter „Challenge“ eine Marktanalyse in Auftrag. Und die Ergebnisse sind eindeutig: Ein durchschnittlicher Triathlet hat einen Hochschulabschluss, verdient 100-150.000 Dollar jährlich und ist bereit, davon 4.000-5.000 Dollar für seinen Sport auszugeben. Diese Investitionen umfassen neben Trainingsgeräten, Startgeldern und Sporternährung auch die Rennausrüstung. Ein wichtiger Teil davon ist der Triatloneinteiler, das einzige Equipment, das in allen drei Disziplinen des Triathlons verwendet wird. Die hohe Bereitschaft, Geld auszugeben, sorgt dafür, dass die Entwicklung neuer Technologien, auch im Bereich der Rennbekleidung nicht nur im Profibereich, sondern auch im Amateurbereich, ständig vorangetrieben wird. Und der Forschungsbereich ist groß: Wettkampfbekleidung muss die Leistung in zwei verschiedenen Medien (Wasser und Luft) und bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten optimieren. Sie muss eng anliegen, darf aber die Bewegungsfreiheit nicht einschränken. Sie muss eine ausreichende Thermoregulierung bieten und darf bei Kontakt nicht reißen. In dieser Übersicht sollen die grundlegenden Anforderungen der jeweiligen Disziplin an die Bekleidung, sowie die technischen Möglichkeiten und eine entsprechende



## Triathloneinteiler – Die Herausforderung, die Leistungsfähigkeit in drei unterschiedlichen Disziplinen mit nur einem Kleidungsstück zu optimieren | 2

Einordnung in das Regelwerk der Internationalen Triathlon Union (ITU) dargestellt werden.

### SCHWIMMEN REGELN

Das Schwimmen während eines Triathlons kann von Wettkampf zu Wettkampf sehr unterschiedlich gestaltet sein. Der Wettkampf kann in einem Schwimmbad mit Bahnen oder im offenen Wasser (See oder Meer) stattfinden, und die Standarddistanzen variieren von 750 m (Sprintdistanz) bis 3800 m (Langdistanz). Der Schlüsselfaktor im Schwimmreglement ist die Erlaubnis, Verpflichtung oder das Verbot, Neoprenanzüge zu verwenden. Je nach Rennkategorie des Athleten, Wassertemperatur und Schwimmstrecke dürfen Triathleten möglicherweise nicht mit Neoprenbekleidung antreten (Tab. 1 und Tab. 2).

Schwimmweite	Verbot	Verpflichtung*
Bis zu 1500m	20°C und darüber	15.9°C und darunter
1501m und weiter	22°C und darüber	15.9°C und darunter

Tabelle 1. Neopren-Reglement für Elite-, U23-, Junioren- und Jugendsportler. \*Wenn verpflichtet, muss der Neoprenanzug mindestens den Oberkörper bedecken (ITU, 2018).

Schwimmweite	Verbot	Verpflichtung*
Bis zu 1500m	22°C und darüber	15.9°C und darunter
1501m und weiter	24.6°C und darüber	15.9°C und darunter

Tabelle 2. Neopren-Reglement für Athleten der Altersklasse. \* Wenn verpflichtet, muss der Neoprenanzug mindestens den Oberkörper bedecken (ITU, 2018)

Für das Schwimmen ohne Neoprenanzug müssen die Athleten zugelassene Triathlonanzüge tragen. Diese müssen aus 100% Textilmaterial bestehen und dürfen weder Teile der Arme unterhalb des Ellenbogens noch Teile der Beine unterhalb der Knie bedecken (ITU, 2018).

### TECHNISCHE MÖGLICHKEITEN



## Triathloneinteiler – Die Herausforderung, die Leistungsfähigkeit in drei unterschiedlichen Disziplinen mit nur einem Kleidungsstück zu optimieren | 3

Wenn die zusätzliche Verwendung von Neoprenanzügen im Schwimmen verboten ist, ist das Material und das Design des Rennanzugs entscheidend für die Leistung. Das wichtigste Merkmal des Triathlonanzugs sollte sein, dass er es dem Athleten ermöglicht, innerhalb der kürzest möglichen Zeit die Wettkampfstrecke zu bewältigen. Und dies ist eine dreifache Eigenschaft: Erstens sollte der Widerstand im Wasser so weit wie möglich reduziert werden, um den Energiebedarf für das Schwimmen bei den hohen Geschwindigkeiten zu minimieren. Bezogen auf die grundlegende Strömungsmechanik kann dies erreicht werden, indem 1) die benetzte Fläche reduziert wird; 2) die laminare Strömung um den Körper herum erhöht und somit die turbulente Strömung reduziert wird; 3) die Strömungsablösung durch Förderung der anhaftenden Strömung reduziert wird und 4) die Erzeugung von Wellen und Sprühnebel reduziert wird (Wilcox, 2000). Widerstandsreduzierende Schwimmanzüge können den Gesamtwiderstand um 10-15% reduzieren (Walsh, 1998), während das Rasieren der Körperhaare eines Athleten den Gesamtwiderstand nur um 9% reduziert (Starling et al., 1995). Dies kann durch die richtige Wahl des Materials erreicht werden, einschliesslich eines niedrigen Widerstandskoeffizienten, einer engen Passform zur Verringerung der benetzten Fläche und durch die Platzierung von Wirbelgeneratoren an strategischen Stellen des Schwimmers, wie z.B. dem Gesäss (Mollendorf et al., 2004). Mollendorf und Kollegen (2004) fanden ebenfalls heraus, dass Schwimmanzüge, die nur Körperteile unterhalb der Taille bedecken, keinen oder zumindest keinen signifikanten Einfluss auf die Widerstandsminderung haben. Aus ihren Daten lässt sich auch ableiten, dass die Bedeckung des Beines unterhalb des Knies keinen Einfluss auf den Gesamtwiderstand beim Schwimmen hat.

Zweitens ist der Energiebedarf bei allen Geschwindigkeiten im Schwimmen auch abhängig vom Zusammenspiel der individuellen Körperdichte des Athleten, der Verteilung der verschiedenen Dichten im Körperinneren und der Dichte des umgebenden Mediums (Salzwasser, Süßwasser oder auch Verunreinigungen des Wassers, weshalb der Wettkampfort in der Schwimmmechanik eine Rolle spielt). Wenn ein Körper im Wasser schwimmt, wirken zwei Kräfte auf ihn ein: die Gravitationskraft und die Auftriebskraft, die durch das Wasser ausgeübt wird. Der Schwerpunkt und der Auftriebsmittelpunkt liegen in der Regel nicht an der gleichen Stelle, was beim Schwimmen eine Drehung des Körpers bewirkt und somit den Energiebedarf während eines Wettkampfes erhöht, da der Athlet diesem Moment aktiv entgegenwirken muss (Abbildung 1). Die Auftriebskraft und ihr Auftriebsmittelpunkt sind von der oben erwähnten Wechselwirkung der Dichten abhängig. Geringere Dichten des Körpers



## Triathloneinteiler – Die Herausforderung, die Leistungsfähigkeit in drei unterschiedlichen Disziplinen mit nur einem Kleidungsstück zu optimieren | 4

und höhere Dichten des umgebenden Wassers erhöhen die Auftriebskraft und umgekehrt. Die Divergenz zwischen den Standorten der Zentren ist z.B. bei Frauen viel geringer (z.B. wegen des höheren Fettgehaltes in den Beinen und des geringeren Lungenvolumens) und daher ist es für sie leichter, mit einer günstigeren Wasserlage zu schwimmen (Rushell, 2007). Die Auftriebskraft kann aber nicht nur durch die Körperzusammensetzung des Athleten, sondern auch durch die Technik des Schwimmanzuges beeinflusst werden. Durch Lufteinschlüsse im Inneren des Anzugs an Positionen, die weiter distal als der Körperschwerpunkt (KSP) liegen, kann der Auftriebsmittelpunkt so verändert werden, dass er fast mit dem KSP zusammenfällt. Bei Einzelschwimmwettkämpfen ist dies durch die folgenden Zeilen in den FINA-Anforderungen für die Zulassung von Schwimmbekleidung (FRSA, 2017) verboten: “[...] any material added on to the surface of the textile fabric (any part thereof) or processing of the same [...] shall not close the overall open mesh structure of the base textile fabric [...]”. Ein solches Verbot ist in den Wettbewerbsregeln der ITU nicht enthalten, was die Unternehmen dazu veranlasst, ihre Triathlonanzüge z.B. mit Teflon zu beschichten und die Nähte zu laminieren, anstatt sie zu nähen. Daher kann in diesen Anzügen Luft eingeschlossen werden, um den Schwimmer zu verändern, und der Gesamtwiderstand kann ebenfalls reduziert werden.

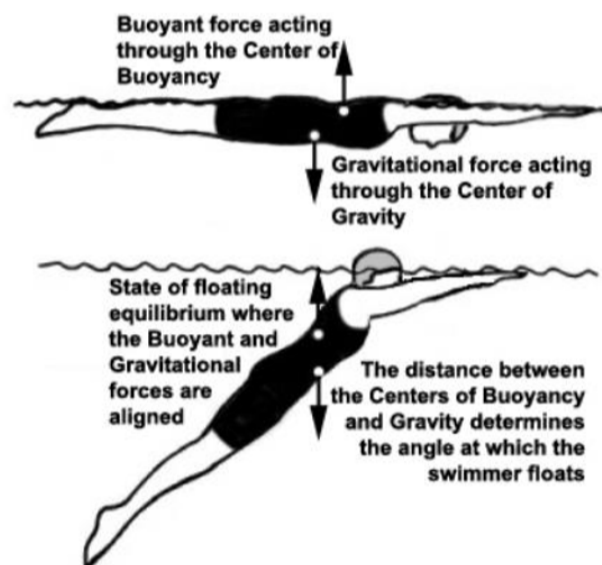


Abbildung 1. Die Rolle der Auftriebs- und Gravitationszentren und wie diese die Wasserlage bestimmen (Rushell, 2007).



## Triathloneinteiler – Die Herausforderung, die Leistungsfähigkeit in drei unterschiedlichen Disziplinen mit nur einem Kleidungsstück zu optimieren | 5

Drittens sollte die Passform des Kleidungsstücks zwar sehr eng sein, um den Widerstand zu minimieren, doch das Kleidungsstück sollte die Bewegung des Athleten nicht einschränken, was zu einem höheren Energieaufwand führen würde. Laut Jenkins und Kollegen (2014) werden 90 % der Schwimmleistung durch Armarbeit erbracht, aber der große Bewegungsumfang der Arme und Schultern in allen Ebenen impliziert einen zweifellos kritischen Bereich in Bezug auf die Passform und Bewegung der Kleidung. Unbehagen und höherer Energiebedarf können daraus resultieren, dass sich die Körpermaße ändern, sobald sich der Körper bewegt, während die Maße der Kleidung unverändert bleiben. Auf der einen Seite des Beugegelenks nimmt die Gesamtlänge der Körperoberfläche zu, auf der gegenüberliegenden Seite verkürzt sie sich. Bezogen auf den Schultergürtel entspricht diese Längenänderung 13-16% (Hatch, 2006).

Um Komfort zu gewährleisten und die Leistung des Sportlers zu maximieren, kann die Kleidung im Allgemeinen auf fünf verschiedene Arten angepasst werden: 1) durch die Verwendung von lockerer Kleidung; 2) durch unbefestigte Bereiche zwischen den Kleidungsstücken; 3) durch offene Bereiche im Kleidungsstück; 4) durch die Verwendung von flexiblen Materialien bei eng anliegender Kleidung und 5) durch Designmerkmale in kritischen Bereichen, wie z.B. elastische Einsätze unter den Armen (Ashdown, 2011). Die ersten beiden Techniken können im Falle von Triathlonanzügen vernachlässigt werden, da diese den Widerstand beim Schwimmen deutlich erhöhen würden. Bei den zweiteiligen und ärmellosen Triathlonanzügen werden offene Bereiche im Kleidungsstück verwendet (Abbildung 2, A und B). Da diese die Arme überhaupt nicht bedecken und um die Schultern herum weit ausgeschnitten sind, wird die Bewegung der Arme nicht oder nur minimal eingeschränkt. Der kurzärmelige Triathlonanzug (Abbildung 2, C) bedeckt die gesamte Schulter und den Oberarm und muss daher in diesem Bereich mit flexiblen Materialien ausgestattet sein. Gemäss Hatch (2006) muss der Grad der Flexibilität bei aktiver, körperbetonter Kleidung im Bereich von 30-50%, gemessen in Prozent der Dehnung, liegen. Dies kann durch die richtige Garnverarbeitung (z.B. haben Maschenstoffe eine höhere Dehnung als Gewebe) oder durch den Zusatz von elastischen Fasern wie Elastan erreicht werden. Wesentlich für jede aufgeführte Art der Leistungsoptimierung durch Kleidungsstücke ist jedoch eine angemessene Passform. Dazu gehören eine angemessene „Leichtigkeit“, d.h. die zusätzliche Länge des Stoffes im Vergleich zur Körperform, und eine angemessene Passform, d.h. die „Balance“ des Kleidungsstücks, die es so an Ort und Stelle hält, dass Schwerkraft und Reibung das Kleidungsstück nicht auf dem Körper verschieben. Der Prozess der



## Triathloneinteiler – Die Herausforderung, die Leistungsfähigkeit in drei unterschiedlichen Disziplinen mit nur einem Kleidungsstück zu optimieren | 6

Mustererstellung kann angesichts der großen Vielfalt von Körpermaßen in der Bevölkerung eine ziemliche Herausforderung darstellen (Ashdown, 2011). Die Verwendung von zweiteiligen Anzügen kann in dieser Hinsicht vorteilhaft sein. Wenn ein Athlet unterschiedliche Größen am Ober- und Unterkörper hat, kann er seine Kleidungsstücke nach Belieben zusammenstellen. Für diesen Bericht wurden 10 Online-Shops gängiger Triathlon-Firmen überprüft, und keiner von ihnen bot eine solche Anpassung hinsichtlich der Größenbestimmung für ihre ärmellosen oder kurzärmeligen Einteiler an.



Abbildung 2. Die drei gängigen Typen von Triathlonanzügen. A: Zweiteiliger Triathlonanzug. B: Ärmelloser Triathlonanzug. C: Triathlon-Anzug mit kurzen Ärmeln.

## RADFAHREN REGELN

Das Radfahren beim Triathlon findet in der Regel auf Straßen statt, die für den normalen Verkehr gesperrt sind. Die üblichen Distanzen variieren zwischen 20 km (Sprintdistanz) und 180 km (Langdistanz). Im Allgemeinen gibt es zwei verschiedene Arten von Wettkampfmodi: Wettbewerbe mit Windschattenfreigabe und Wettkämpfe, in denen das Windschattenfahren verboten ist. Das Reglement hängt von der Rennkategorie des Athleten und der zu fahrenden Distanz ab (Tabelle 3).

	Jugend	U23	Elite	Altersklassen
<u>Sprintdistanz</u>	Legal	Legal	Legal	<u>Beide Optionen</u>
<u>Kurzdistanz</u>	/*	Legal	Legal	Illegal
<u>Mittel- / Langdistanz</u>	/*	/*	Illegal	Illegal



## Triathloneinteiler – Die Herausforderung, die Leistungsfähigkeit in drei unterschiedlichen Disziplinen mit nur einem Kleidungsstück zu optimieren | 7

Tabelle 3. Windschattenregeln in Abhängigkeit von Rennkategorie und Renndistanz (ITU, 2018). \*Diese Renndistanz wird für diese Kategorie nicht durchgeführt (ITU, 2018).

Die Erlaubnis oder das Verbot des Windschattenfahrens während eines Triathlons hat einen großen Einfluss auf das zu verwendende Material des Athleten. Das Regelwerk, welches sich aus den Windschattenvorgaben ergeben, beschränkt sich jedoch hauptsächlich auf die Gestaltung des Rades und sollen in diesem Aufsatz nicht diskutiert werden. Dementsprechend werden die unter „Schwimmen“ genannten Regeln für Triathlonanzüge beibehalten und gelten auch für den Radsportteil.

### TECHNISCHE MÖGLICHKEITEN

Im Radsport im Allgemeinen macht der Windwiderstand bis zu 90% des Gesamtwiderstands aus, der von verschiedenen Parametern wie der Geschwindigkeit des Radfahrers, dem Körper und seiner Position auf dem Rad und der Geometrie des Körpers und der Ausrüstung abhängt (Kyle, 1979). Durch das Fahren im Windschatten eines anderen Fahrers kann der Gesamtwiderstand um bis zu 40% reduziert werden (Olds, 1998). Daraus lässt sich ableiten, dass die Aerodynamik im Radsport einer der wichtigsten Schlüsselfaktoren ist und noch wichtiger wird, wenn das Fahren im Windschatten verboten ist, weshalb der Wettkampfmodus eine so wichtige Rolle spielt. Nach Martin und Kollegen (1998) kann die allgemeine Widerstandsgleichung aus der grundlegenden Strömungsmechanik auch auf Radfahrer angewendet werden:

$$F_D = C_D * A \frac{1}{2} \rho U^2 \quad \text{mit} \quad \rho = \frac{p}{R_s T} ,$$

wobei  $F_D$  die aerodynamische Widerstandskraft,  $C_D$  der Widerstandsbeiwert,  $A$  die Stirnfläche,  $\rho$  die Luftdichte und  $U$  die Windgeschwindigkeit,  $p$  der Luftdruck,  $R_s$  die spezifische Gaskonstante und  $T$  die Temperatur ist. Die Luftwiderstandskraft nimmt mit dem Quadrat der Windgeschwindigkeit zu, weshalb die Aerodynamik umso wichtiger wird, je höher die Geschwindigkeit des Fahrers ist. Athleten sind typischerweise mit Situationen hoher Geschwindigkeit bei ebener und bergab gehender Fahrt konfrontiert.



## Triathloneinteiler – Die Herausforderung, die Leistungsfähigkeit in drei unterschiedlichen Disziplinen mit nur einem Kleidungsstück zu optimieren | 8

Mit Hilfe von Technologien kann die Gesamtwiderstandskraft durch Verringerung der Stirnfläche (eng anliegende Kleidung hat eine kleinere Stirnfläche als lose Kleidung) und Verbesserung des Widerstandskoeffizienten reduziert werden. Der grundlegende Mechanismus, den Triathlonanzüge nutzen, um aerodynamische Vorteile zu erzielen, besteht darin, die Strömungsablösung so weit wie möglich zu verringern oder sie in Richtung des unteren Rückens des Fahrers zu verlagern. Dadurch wird der Nachlauf, d.h. der Bereich der turbulenten Strömung hinter dem Körper, deutlich reduziert und damit auch der Luftwiderstand im Allgemeinen (Crouch et al., 2017). Der Gesamtleistungsgewinn hängt von vielen verschiedenen Parametern ab, darunter Fasermaterial, Garnart, Gewebetyp (d.h. Stichmuster, Dichte, Dicke und Porosität), Nahtpositionierung, Beschichtungen, abgedeckte Fläche und Passform (Brownlie et al., 2009). In Bereichen mit anliegender Strömung sollten glatte und/oder beschichtete Stoffe verwendet werden, um die „Hautreibung“ zu verringern, was sich in diesem Fall auf die Widerstandskraft bezieht, die auf den Körper des Fahrers ausgeübt wird, wenn sich die Luft auf der Oberfläche bewegt. Dies kann in Bereichen mit abgelöster Strömung wie dem unteren Rücken vernachlässigt werden, so dass das Material in diesen Regionen so gestaltet werden kann, dass es andere Parameter wie z.B. eine höhere Dehnung verbessert, um die Bewegung des Athleten nicht zu beeinträchtigen. Die Nähte sollten in Strömungsrichtung ausgerichtet sein und die Gesamtbedeckung sollte so hoch wie möglich sein, d.h. gemäß den ITU-Wettbewerbsregeln bis zu den Ellenbogen und Knien. Eine wirksame Verringerung des Luftwiderstands kann jedoch nur durch eine enge Passform und geringe Materialfaltenbildung erreicht werden. Aufgrund der unterschiedlichen Körperformen der Athleten ist es wahrscheinlich nicht möglich, einen bestimmten Anzug als den insgesamt besten zu wählen, sodass ein individueller Test für den optimalen Anzug absolut notwendig ist (Brownlie et al., 2009).

Im Jahr 2016 führte STAPS, ein unabhängiges Unternehmen, das Radanpassungen und Leistungsdiagnostik im Triathlon anbietet, einen aerodynamischen Test in einem Velodrom durch und veröffentlichte seine Daten. Ein Athlet fuhr mit 11 verschiedenen ärmellosen und kurzärmeligen Triathlonanzügen und einem langärmeligen Zeitfahranzug als Referenz bei drei verschiedenen Geschwindigkeiten (36km/h, 40km/h und 45km/h). Während des gesamten Tests wurde die Tretleistung (in Watt) gemessen. Die Daten zeigen, dass der Referenzanzug (ein Langärmeliger Zeitfahranzug für den reinen Radsport) die beste Leistung erbrachte und alle kurzärmeligen Triathloneinteiler besser abschnitten als die ärmellosen. Der Unterschied in der Tretleistung zwischen dem besten und dem schlechtesten von STAPS





## Triathloneinteiler - Die Herausforderung, die Leistungsfähigkeit in drei unterschiedlichen Disziplinen mit nur einem Kleidungsstück zu optimieren | 9

getesteten Triathlonanzug betrug etwa 3,5% bei 45km/h (Abbildung 3). Geht man davon aus, dass dieser Athlet in der Lage ist, ein Langstreckenrennen (180 km) mit durchschnittlich 300 Watt zurückzulegen, würde dies einem Unterschied von etwa 4 Minuten entsprechen (4:14:54h vs. 4:18:41h). Es kann davon ausgegangen werden, dass der Vorteil des besten Aero-Anzuges gegenüber zweiteiligen Anzügen aufgrund der zusätzlichen Nähte, die nicht in Luftstromrichtung liegen, wahrscheinlich noch größer wäre. Offensichtlich handelt es sich bei den von STAPS durchgeführten Tests nicht um eine wissenschaftliche Studie, und es hat nur ein einziger Athlet teilgenommen, weshalb man den einzelnen Werten nicht zu viel Gewicht beimessen sollte. Diese Daten können jedoch als Beispiel dafür dienen, wie Triathlonanzüge die Leistung optimieren können und in welchem Ausmaß die Auswirkungen zu erwarten sind.

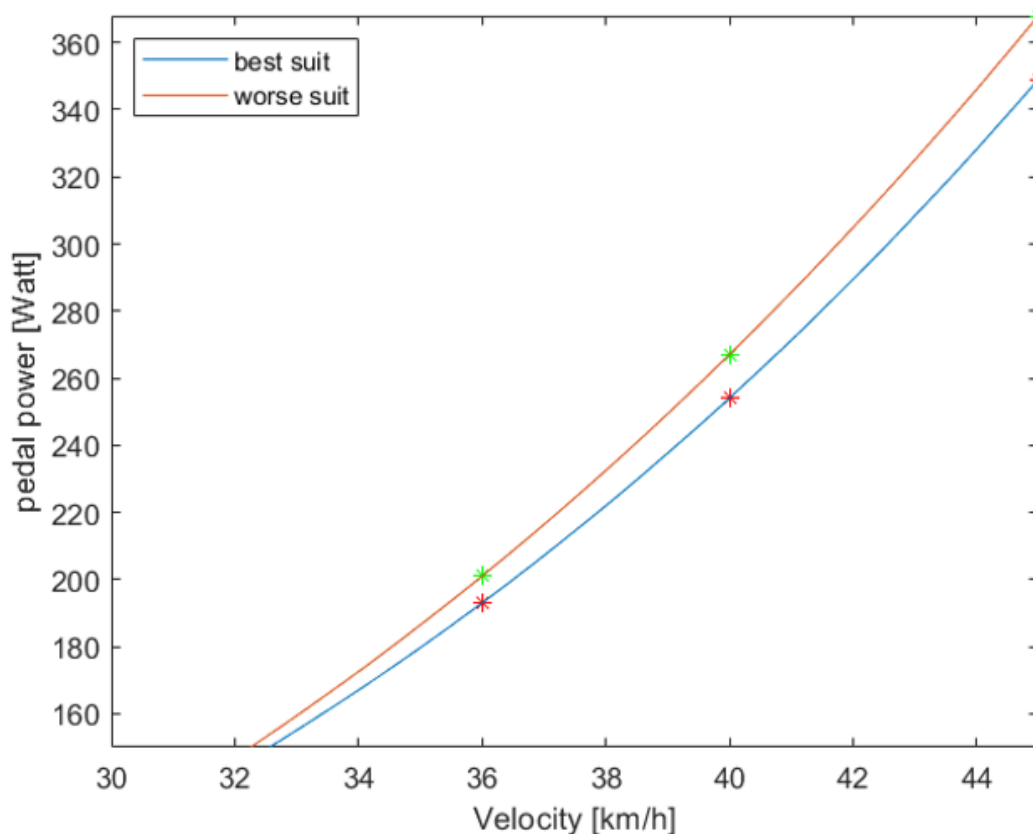


Abbildung 3. Interpolation der Tretleistung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit des besten und des schlechtesten Triathlonanzugs (Modifiziert aus STAPS, 2016).



Doch die Leistung von Triathleten hängt nicht nur von mechanischen, sondern auch von physiologischen und psychologischen Faktoren ab. Die tatsächliche Ausdauerleistungsfähigkeit kann natürlich nicht durch einen Anzug erhöht werden, aber er kann dazu beitragen, die sportliche Leistung unabhängig von Umwelteinflüssen länger zu erhalten. Um eine maximale sportliche Leistung zu erreichen, ist es wichtig, dass der Athlet positive Emotionen empfindet und sich in einem allgemeinen Zustand des Wohlbefindens befindet (McCarthy, 2011). Zum Beispiel spielt die Polsterung eines Triathlonanzugs beim Radfahren eine entscheidende Rolle für den Komfort und die Prävention von Überlastungsverletzungen und -störungen (Leibovitch & Mor, 2005). Durch das Einnähen von Sitzpolstern in den Schritt des Anzugs kann das Scheuern reduziert, der Druck auf den Sattel über eine grössere Fläche verteilt (Druckverteilung in der räumlichen Dimension) und Stöße absorbiert werden (Stossdämpfung in der zeitlichen Dimension). Diese Pads bestehen entweder aus zusätzlichen Stoffen, Schaumstoffen oder Gelen, sind aber in der Regel kleiner als bei Anzügen für isolierte Radsportwettbewerbe, um das spätere Laufen nicht zu beeinträchtigen. Der Athlet kann allerdings nicht nur durch eine unbequeme Sitzposition, sondern auch durch thermische Belastung aus diesem positiven Zustand herausgebracht werden. Dies hat nicht nur psychologische, sondern auch physiologische Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit des Athleten. Die Thermoregulation umfasst alle Mechanismen des Körpers, um eine konstante Körperkerntemperatur von etwa  $37 \pm 1-2^{\circ}\text{C}$  aufrechtzuerhalten, sei es in kalten oder in warmen Klimabedingungen (Cheshire, 2016). Diese Mechanismen umfassen die Wärmeproduktion aus dem Stoffwechsel und den Wärmegewinn aus der Umgebung sowie den Wärmeverlust durch Konvektion, Konduktion, Strahlung und Verdunstung (Gavin, 2003). Insbesondere beim Radfahren können hohe Konvektion in Kombination mit Verdunstung und die strenge Bekleidungs Vorschrift bezüglich der Ärmellänge in kalten Umgebungen zu einem starken Wärmeverlust des Körpers führen. In extrem warmen und feuchten Umgebungen kann das Radfahren auch zu einem Anstieg der Körpertemperatur führen. Dies wird jedoch später im Abschnitt „Laufen“ erörtert, da das Problem aufgrund der geringeren Windgeschwindigkeiten und der daraus resultierenden geringeren Konvektion ausgeprägter ist als beim Radfahren. Ein wichtiger Faktor bei der Thermoregulierung von Bekleidung ist die Einheit „Clo“, die ein Index für den Wärmewiderstand eines Kleidungsstücks ist. Eine Clo beschreibt die Kleidung, die notwendig ist, um bei einer Umgebungstemperatur von  $21^{\circ}\text{C}$  einen komfortablen Ruhezustand zu erhalten. Während körperlicher Aktivität bei Temperaturen von  $0^{\circ}$  und Windstille ist der menschliche Körper in der Lage, die Körpertemperatur mit Kleidung von einer Clo zu halten.



Nimmt die Windgeschwindigkeit zu, was während des Radfahrens aufgrund der Luftströmung der Fall ist, ist Kleidung mit höherer Wärmeisolierung erforderlich. Die Wahl der richtigen Bekleidungsart kann jedoch recht knifflig sein, da es schwierig ist, das Gleichgewicht zwischen der Wärmeproduktion während der Belastung und der Wärmeabgabe an die Umgebung aufrechtzuerhalten. Zu wenig Kleidung kann zu Unterkühlung führen und zu viel Kleidung kann zu einem Anstieg der Körpertemperatur und übermäßigem Schwitzen führen. In beiden Fällen leidet der Komfort stark und die Ausdauerleistung nimmt ab. Die ideale Winterkleidung blockiert daher bei trockener, kalter Umgebung die Luftbewegung, unterstützt aber beim Schwitzen das Entweichen von Wasserdampf durch die Kleidung, z.B. mit Hilfe des Kapillareffekts (Gavin, 2003).

## **LAUFEN REGELN**

Das Laufen im Triathlon wird normalerweise auf Straßen oder Wegen ausgetragen, die für den normalen Verkehr gesperrt sind. Die Distanzen variieren zwischen 5 km (Sprintdistanz) und 42,2 km (Langdistanz). Im Gegensatz zu Schwimmen und Radfahren gibt es beim Triathlon keine speziellen Wettkampfvarianten, die die Wahl der Ausrüstung beeinflussen könnten. Im Gegensatz zu den beiden anderen Disziplinen sind die Regeln bezüglich der Bekleidung relativ offen: Der Oberkörper muss bedeckt sein, ansonsten kann der Athlet seine Bekleidung frei wählen (ITU, 2018).

## **TECHNISCHE MÖGLICHKEITEN**

Dass der Athlet während des Laufens seine Kleidung frei wählen kann, bedeutet insbesondere, dass der Athlet während des zweiten Übergangs Kleidung wechseln oder hinzufügen darf, um sich besser an die klimatischen Bedingungen anzupassen. Diese Regelung macht eine nähere Betrachtung von Triathlonanzügen für kalte Bedingungen, wie sie für den Radsport gemacht wurde, obsolet. Dieser Abschnitt befasst sich daher mit der



## Triatloneinteiler – Die Herausforderung, die Leistungsfähigkeit in drei unterschiedlichen Disziplinen mit nur einem Kleidungsstück zu optimieren | 12

Thermoregulierung unter heißen und feuchten Klimabedingungen. Die optimale Umgebungstemperatur für Ausdauerübungen liegt bei ca. 10-12°C, dies konnte von Galloway und Maughan (1997) gezeigt werden. Sie untersuchten die Zeit bis zur Erschöpfung bei Läufern, die bei 70% der maximalen Sauerstoffaufnahme bei verschiedenen Temperaturen auf dem Laufband liefen. Eine stärkere Wärmeproduktion, die durch schnelleres Laufen und/oder höhere Außentemperaturen induziert wurde, führte zu einem steileren Anstieg der Körperkerntemperatur und einem Leistungsabfall. Je höher die Belastung, die Umgebungstemperatur und die Luftfeuchtigkeit, desto höher sind auch die Schwitzraten. Die maximale Rate liegt bei 3 - 4 Litern pro Stunde (Weineck, 2010). Da die konvektive Luftströmung beim Laufen (~3,3m/s) deutlich geringer ist als beim Radfahren (~9,7m/s, abhängig von der Leistungsfähigkeit und den Windverhältnissen), wird die Verdunstung des Schweißes zum wichtigsten Mechanismus des Körpers, um Wärme abzugeben. Jede Art von Kleidung stellt eine Isolationsschicht dar und wirkt daher als Barriere gegen Wärmeübertragung und Verdampfung, was zu einer Verringerung der Kühleffizienz führt. Dies sollte jedoch nicht so verstanden werden, dass der Stoff den Schweiß absorbieren soll. Auch wenn die Entfernung von Flüssigkeit von der Haut zu einem erhöhten Komfort führt, muss Schweiß, um einen nützlichen Kühleffekt zu erzielen, direkt von der Haut evaporieren. Daher ist das Kleidungsstück, das den geringsten Verdunstungswiderstand aufweist, für das Laufen unter warmen und feuchten Bedingungen am besten geeignet und nicht das, das die Haut am schnellsten trocknet (Gavin, 2003). Um die Atmungsaktivität von Triathlonanzügen zu verbessern, können spezielle Gewebearten verwendet werden, wie z.B. Mesh- oder Scheinösenkonstruktionen. In Bezug auf die Thermoregulierung schneiden diese besser ab als einfache Trikotstoffe (Watson et al., 2018). Dennoch sollte die abgedeckte Fläche so klein wie möglich sein, um die Gesamtisolierung zu reduzieren und die Kühleffizienz zu erhöhen, da keines dieser Gewebe eine perfekte Atmungsaktivität bietet (Gavin, 2003). Bei der Untersuchung der Thermoregulierung von Triathlonanzügen ist es wichtig, nicht nur die einzelnen Gewebe, sondern auch ihre Platzierung sowie das Gesamtdesign und die einzelnen Konstruktionselemente wie Reißverschlüsse, Rückentaschen und Fahrradpolster zu betrachten (Gavin, 2003). All diese haben wichtige Funktionen wie bessere Passform, Ernährung und Komfort, stellen aber auch größere Barrieren für die Wärmeübertragung und Verdunstung durch zusätzliche Stoffschichten oder Polsterungen dar. Die Anzahl, Größen, Formen und Materialien dieser Elemente bestimmen den Leistungsverlust in Bezug auf die Thermoregulierung (Watson et al., 2003).



## FAZIT

Wie in den einzelnen Abschnitten gezeigt wird, sind die Anforderungen an Triathlonanzüge aufgrund der unterschiedlichen externen Medien, Geschwindigkeiten und Bewegungsmuster sehr breit gefächert. Daher ist es für Entwickler fast unmöglich, den perfekten Triathlonanzug zu entwerfen. Meist ist es die Aufgabe, Kompromisse bei der Funktionalität einzugehen. Besonders kritisch sind in dieser Hinsicht die Unterschiede in den Anforderungen zwischen den ersten beiden Disziplinen und dem Laufen. Die für das Schwimmen erforderliche Hydrodynamik und die für den Radsport erforderliche Aerodynamik, die die Leistung des Athleten in hohem Maße beeinflussen, gehen Hand in Hand, da beide auf der Strömungsmechanik basieren. In beiden Fällen kann die Leistung durch eine möglichst große bedeckte Fläche, einen engen Sitz, die Nahtpositionierung in Strömungsrichtung, die Nahtkaschierung und die Beschichtung des Materials verbessert werden. Aufgrund ihrer Beschaffenheit sind diese Eigenschaften jedoch mit einer Einschränkung der Atmungsaktivität verbunden. Findet der zu absolvierende Wettkampf unter warmen und feuchten Bedingungen statt, kann dies insbesondere beim Laufen schnell zu Leistungseinbußen des Athleten durch Überhitzung und Dehydrierung führen.

## REFERENZEN

Ashdown, S. P. (2011): Improving body movement comfort in apparel. In: Improving Comfort in Clothing: Elsevier, pp. 278- 302.

Brownlie, Len; Kyle, Chester; Carbo, Jorge; Demarest, Nate; Harber, Edward; MacDonald, Richard; Nordstrom, Matt (2009): Streamlining the time trial apparel of cyclists: the Nike Swift Spin project. In Sports Technol. 2 (1-2), pp. 53-60. DOI: [10.1002/jst.12](https://doi.org/10.1002/jst.12).

Cheshire, William P. (2016): Thermoregulatory disorders and illness related to heat and cold stress. In Autonomic neuroscience: basic & clinical 196, pp. 91-104. DOI: [10.1016/j.autneu.2016.01.001](https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.01.001).

Crouch, Timothy N.; Burton, David; LaBry, Zach A.; Blair, Kim B. (2017): Riding against the



## Triathloneinteiler – Die Herausforderung, die Leistungsfähigkeit in drei unterschiedlichen Disziplinen mit nur einem Kleidungsstück zu optimieren | 14

wind: a review of competition cycling aerodynamics. In *Sports Eng* 20 (2), pp. 81–110. DOI: [10.1007/s12283-017-0234-1](https://doi.org/10.1007/s12283-017-0234-1).

FINA (2017): FINA Requirements for Swimwear Approval. Available online at <https://www.fina.org/sites/default/files/frsa.pdf>, checked on 7/31/2019.

Galloway, S. D.; Maughan, R. J. (1997): Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. In *Medicine & Science in Sports & Exercise* 29 (9), pp. 1240–1249.

Gavin, Timothy P. (2003): Clothing and thermoregulation during exercise. In *Sports medicine* (Auckland, N.Z.) 33 (13), pp. 941–947. DOI: [10.2165/00007256-200333130-00001](https://doi.org/10.2165/00007256-200333130-00001).

Hatch, Kathryn L. (2006): *Textile science*. Apex, NC: Tailored Text Custom Publishing. ITU (2018): ITU Competition Rules. Available online at [https://www.triathlon.org/uploads/docs/itusport\\_competitionrules\\_2019.pdf](https://www.triathlon.org/uploads/docs/itusport_competitionrules_2019.pdf), checked on 7/31/2019.

Kyle, C.R. (1979): Reduction of Wind Resistance and Power Output of Racing Cyclists and Runners Travelling in Groups. In *Ergonomics* 22 (4), pp. 387–397. DOI: [10.1080/00140137908924623](https://doi.org/10.1080/00140137908924623).

Leibovitch, Ilan; Mor, Yoram (2005): The vicious cycling: bicycling related urogenital disorders. In *European urology* 47 (3), 277–86; discussion 286–7. DOI: [10.1016/j.eururo.2004.10.024](https://doi.org/10.1016/j.eururo.2004.10.024).

Martin, J.C.; Milliken, D.L.; Cobb, J.E.; McFadden, K.L.; Coggan, A.R. (1998): Validation of a Mathematical Model for Road Cycling Power. In *Journal of applied biomechanics* 14 (3), pp. 276–291. DOI: [10.1123/jab.14.3.276](https://doi.org/10.1123/jab.14.3.276).

Maughan, R. J. (2010): Distance running in hot environments: a thermal challenge to the elite runner. In *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 20 Suppl 3, pp. 95–102. DOI: [10.1111/j.1600-0838.2010.01214.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01214.x).



McCarthy, Paul J. (2011): Positive emotion in sport performance: current status and future directions. In *International Review of Sport and Exercise Psychology* 4 (1), pp. 50–69. DOI: 10.1080/1750984X.2011.560955.

Mollendorf, Joseph C.; Termin, Albert C.; Oppenheim, Eric; Pendergast, David R. (2004): Effect of Swim Suit Design on Passive Drag. In *Medicine & Science in Sports & Exercise* 36 (6), pp. 1029–1035. DOI: [10.1249/01.MSS.0000128179.02306.57](https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000128179.02306.57).

Morris, K. S., Skinner, T. L., Jenkins, D. G., Osborne, M. & Shephard, M. E. (2014): The contribution of the arm stroke and leg kick to freestyle swimming velocity, controlling for stroke and kick rate: A pilot study. In *XIIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming*, pp. 447–453.

Noakes, T. D. (1993): Fluid replacement during exercise. In *Exercise and sport sciences reviews* 21, pp. 297–330. Olds, T. (1998): The mathematics of breaking away and chasing in cycling. In *European journal of applied physiology and occupational physiology* 77 (6), pp. 492–497. DOI: [10.1007/s004210050365](https://doi.org/10.1007/s004210050365).

Roethenbaugh, Gary (2015): Panel-State of Triathlon in Europe, UK and the World. MultiSport Research. Available online at <https://www.triathlonbusinessintl.com/assets/files/PanelState%20of%20Triathlon%20in%20Europe%20UK%20and%20the%20World.pdf>, checked on 7/31/2019.

Rushell, Emeritus Brent S. (2007): Floating in Swimming. The Forgotten Technique Modifier. In *Swimming Science Bulletin* (36).

Sanders, Ross & Rushall, B & Toussaint, H & Stager, Joel & Takagi, Hideki (2001): Bodysuit yourself: but first think about it. In *Journal of Turbulence* 3 (138).

STAPS (2016): get-AERO! – der große Triathlon-Anzug-Test mit Roy Hinnen. Available online at <https://stapsonline.com/get-aero-der-grosse-triathlon-anzug-test-mit-roy-hinnen/>, checked on 8/8/2019.



Triathloneinteiler – Die Herausforderung, die Leistungsfähigkeit in drei unterschiedlichen Disziplinen mit nur einem Kleidungsstück zu optimieren | 16

Starling, R. D.; Costill, D. L.; Trappe, T. A.; Jozsi, A. C.; Trappe, S. W.; Goodpaster, B. H. (1995): Effect of swimming suit design on the energy demands of swimming. In *Medicine & Science in Sports & Exercise* 27 (7), pp. 1086–1089.

Statista (2019): Participants in the US Since 2006. Edited by Statista.com. Available online at <https://www.statista.com/statistics/191339/participants-in-triathlons-in-the-us-since-2006/>, checked on 7/31/2019.

Walsh, J. (1998): Suits Slicker Than Skin. In *Swim Magazine* July, pp. 1–4. Watson, Chris; Nawaz, Nazia; Troynikov, Olga (2018): Evaluation of Triathlon Suit Characteristics Relevant to Thermophysiology of an Athlete. In *Proceedings* 2 (6), p. 229. DOI: [10.3390/proceedings2060229](https://doi.org/10.3390/proceedings2060229).

Wilcox, David C. (2000): *Basic fluid mechanics*. 2. ed. La Cañada, Calif.: DCW Industries.