

## **Anforderungen an die Geschwindigkeitsverteilung in der Messstrecke eines Wasserumlaufkanals für Training und Diagnose im Sportschwimmen**

### **Einleitung**

In Publikationen liest man immer wieder, dass ein Wasserumlaufkanal für Spitzensport und andere Verwendungen gut geeignet ist, ohne dass sich die Autoren mit der Frage der Geschwindigkeitsverteilung in der Messstrecke ernsthaft auseinander gesetzt haben. Meist werden sogar die Parameter, die erforderlich sind, um die Eignung zu überprüfen, nicht angegeben. Deshalb soll im Weiteren gezeigt werden, wie groß die Anforderungen an die Geschwindigkeitsverteilung in der Messstrecke sind.

Unter Geschwindigkeitsverteilung soll die Geschwindigkeit nach Betrag, Richtung und genau genommen auch hinsichtlich ihrer zeitabhängigen Schwankung in der gesamten Messstrecke verstanden werden. Dabei ist der Querschnitt in der Messstrecke sicher größer als der Aktionsbereich der Sportler in den verschiedenen Schwimmsportarten.

Die Anforderungen an die Geschwindigkeitsverteilung werden dadurch bestimmt, dass die beim Training im Schwimmkanal optimierten Bewegungsabläufe für das Schwimmen im Becken ebenfalls optimal sein sollen und die Ergebnisse der Diagnose nicht vom verwendeten Kanal abhängen dürfen. Nur optimale Bewegungsabläufe im Wettkampf sichern letztlich den sportlichen Erfolg.

Ausgangspunkt für den Entwurf eines Schwimmkanals ist deshalb die Vorgabe der Abweichung der Geschwindigkeit von ihrem Mittelwert und die Größe des noch zu definierenden Messquerschnitts. Sie sind die für die Bauform und die Betriebskosten des Kanals entscheidenden Parameter. Bei der Planung eines Wasserumlaufkanals muss man sich dann an Hand einer Wirtschaftlichkeitsrechnung und weiterer Gegebenheiten entscheiden, ob die geforderte Qualität der Geschwindigkeitsverteilung im Messquerschnitt mehr durch den Bauaufwand wie die Wahl großer Strömungsquerschnitte des Wasserumlaufs oder mehr durch verlustreiche Einbauten und Energiekosten erreicht werden soll. In jedem Fall wachsen die Kosten sehr stark mit den Anforderungen an die Geschwindigkeitsverteilung und die Größe des Messquerschnitts.

Neben den Anforderungen an die Geschwindigkeitsverteilung sind weitere an die Welligkeit der Wasseroberfläche, den Gehalt an Luftbläschen und damit die Transparenz des Wassers, die Wasserhygiene und andere zu erfüllen. Auf diese soll hier nicht eingegangen werden.

### **Fehlerbetrachtung**

Maßstab für alle Wasserumlaufkanäle sind die Bedingungen beim Schwimmen im Becken. Dabei bewegen sich die Sportler in ruhendem Wasser, d. h. überall ist die Geschwindigkeit genau Null. An ihrer Körperoberfläche wirken orts- und zeitabhängige Normal- und Tangentialkräfte, die Gewichtskraft und die Trägheitskraft. Alle diese Kräfte sind durch die ebenfalls zeitabhängige Geometrie der Sportler und ihre Bewegungsabläufe bestimmt und über momentane Gleichgewichtsbedingungen miteinander verknüpft.

Damit im Strömungskanal bei gleichen Bedingungen, d. h. gleicher Geometrie und gleichen Bewegungsabläufen genau die gleichen Kräfte wirken, muss das Wasser im gesamten

Messquerschnitt mit genau der mittleren Schwimgeschwindigkeit strömen. In diesem Fall wird die Umströmung der Sportler im Becken und im Kanal vollkommen gleich. Ist die Geschwindigkeitsverteilung in der Messstrecke nicht konstant, dann ergeben sich ausgehend von anderen Normal- und Tangentialkräften über die momentanen Kräfte- und Momentengleichgewichte andere Trägheitskräfte, Schwimmlagen und andere Bewegungsabläufe. Die Auswirkungen der Abweichungen von einer konstanten Geschwindigkeitsverteilung sind so komplex, dass deren Abschätzung im Folgenden für Sonderfälle durchgeführt werden soll.

Gewählt wird ein Kraulschwimmer, weil bei ihm der Vortrieb in besonderem Maße durch die Armbewegung bestimmt wird.

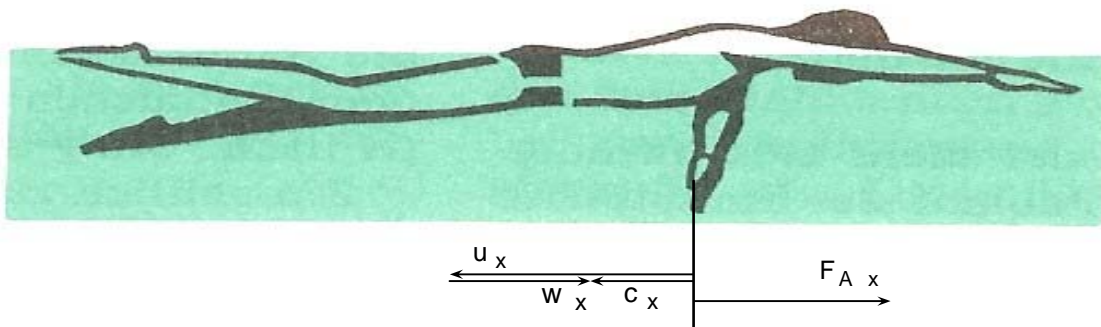


Bild 1 Geschwindigkeiten und Vortriebskraft am Handteller eines Kraulschwimmers

Die Vortriebskraft wird im Wesentlichen am Handteller durch dessen Anströmung mit der Relativgeschwindigkeit in Bewegungsrichtung (x-Richtung)  $w_x$  bewirkt.

$$F_{A x} = c_W A \frac{\rho}{2} w_x^2$$

( $c_W$ -Widerstandsbeiwert des Handtellers,  $A$ -Stirnfläche des Handtellers,  $\rho$ -Dichte des Wassers)

Die Relativgeschwindigkeit  $w_x$  ergibt sich aus der Geschwindigkeit des Handtellers im Absolutsystem  $u_x$  und der Wassergeschwindigkeit  $c_x$  nach der kinematischen Grundgleichung für die x-Richtung.

$$w_x = u_x - c_x$$

Für die Auswirkungen einer fehlerhaften meist zum Boden hin abfallenden Wassergeschwindigkeit am Handteller werden zwei Grenzfälle betrachtet:

1. Der Schwimmer reagiert nicht mit einer Änderung der Geschwindigkeit des Handtellers auf die veränderte Antriebskraft. Dann ergeben sich ein Fehler der Relativgeschwindigkeit und folglich der momentanen Vortriebskraft.

$$\frac{\Delta w_x}{w_x} = \frac{\Delta c_x}{w_x}$$

$$\frac{\Delta F_{Ax}}{F_{Ax}} = 2 \frac{\Delta w_x}{w_x} = 2 \frac{\Delta c_x}{w_x}$$

2. Der Schwimmer behält seine Vortriebskraft bei. Dann verändert sich die Relativgeschwindigkeit, nicht jedoch die Geschwindigkeit des Handtellers.

$$u_x = w_x + c_x$$

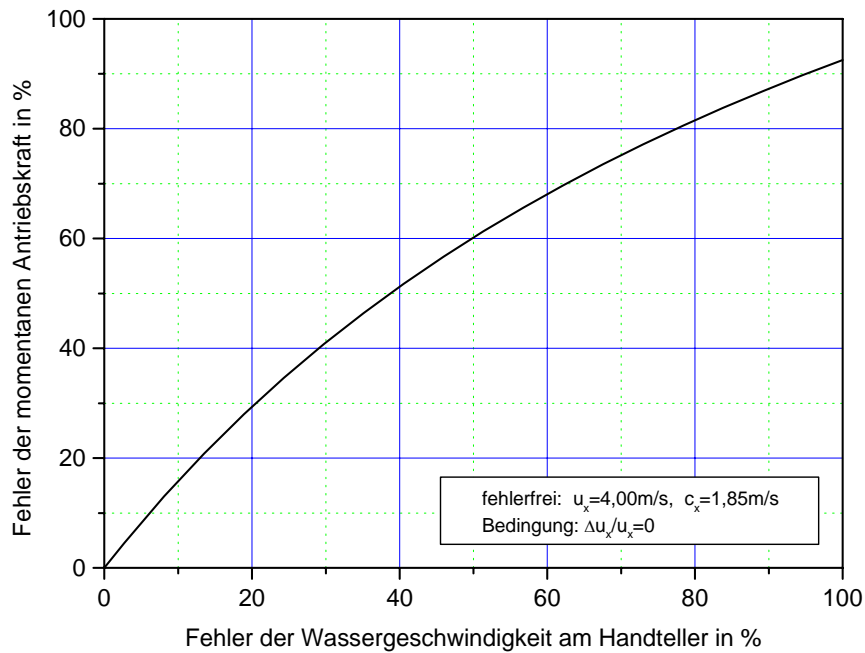


Bild 2 Fehler der Antriebskraft bei fehlerhafter Wassergeschwindigkeit und unveränderlicher Absolutbewegung des Handtellers (Grenzfall 1)

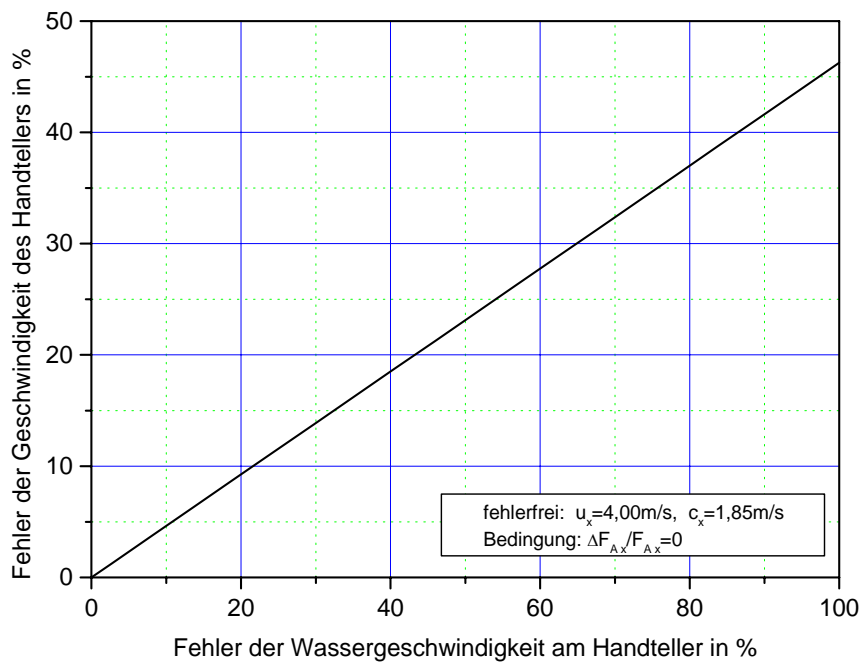


Bild 3 Fehler der Absolutgeschwindigkeit des Handtellers bei fehlerhafter Wassergeschwindigkeit und unveränderlicher Antriebskraft (Grenzfall 2)

Für den Fehler der Absolutgeschwindigkeit des Handtellers bei fehlerhafter Wassergeschwindigkeit und unveränderlicher Antriebskraft ergibt sich:

$$\frac{\Delta u_x}{u_x} = \frac{u_x - \Delta c_x}{u_x}$$

Außer den Auswirkungen auf den Antrieb gibt es weitere bedeutende Auswirkungen einer fehlerhaften Wassergeschwindigkeit. So vergrößern sich z. B. bei einer zum Boden hin abfallenden Wassergeschwindigkeit der Anstellwinkel des Schwimmers und sein Widerstand.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass große Fehler der Wassergeschwindigkeit sich stark auf die Antriebskraft und Bewegungsabläufe auswirken. Gleiche Schlussfolgerungen ergeben sich auch für die anderen Schwimmmarten.

### Größe des Mess- und Zuströmquerschnitts

Im strömungstechnischen Messwesen und damit auch im vorliegenden Fall ist die Größe des Messquerschnitts aus Gründen der Messgenauigkeit und der Betriebskosten von fundamentaler Bedeutung. Deshalb wurden für Windkanäle umfassende Untersuchungen zum Einfluss des Messquerschnitts durchgeführt. Dabei ergab sich, dass die zur Strömung normale Fläche des Messobjektes viel kleiner sein muss als der Düsenquerschnitt, der dem Eintrittsquerschnitt in die Messstrecke entspricht. Da keine analogen Untersuchungen für den Einfluss an Schwimmern in Schwimmkanälen bekannt sind, wird empfohlen, die Mindestwassertiefe von 1,0 m und die Mindestbahnbreite von 2,5 m nach den technischen Regeln der FINA zu wählen. Bei der Wassertiefe ist ein Zuschlag von 0,25 m für den Startsprung sinnvoll. Hinsichtlich der Bahnbreite ist ein Zuschlag von 2 mal 0,2 m entsprechend der Tatsache, dass zwei Beckenränder vorhanden sind, erwägenswert. Mit diesen Maßen werden die Anforderungen der FINA für ein Wettkampfbecken als Randbedingungen und Maßstab für den Wasserumlaufkanal erfüllt.

Gelegentlich werden Wasserumlaufkanäle so ausgeführt, dass nur in einem Teil des Messquerschnitts, z. B. oben am Wasserspiegel eine Zuströmung am Eintritt erfolgt. Das hat zur Folge, dass sich eine „Freistrahlsströmung“ ausbildet. Diese ist gekennzeichnet durch einen sehr großen Wirbel über die Höhe des nicht beaufschlagten Messquerschnitts mit Rückströmung, stark abfallende Geschwindigkeiten zum Boden und zum Austritt aus dem Becken hin, zum Boden hin abfallende Stromlinien im Aufenthaltsbereich der Schwimmer sowie große Turbulenz, siehe Bild 4. Im Bild ist zusätzlich der Bereich der Kernströmung eingezeichnet ist. Nur in dieser Kernströmung existiert die als konstant angenommene Eintrittsgeschwindigkeit.

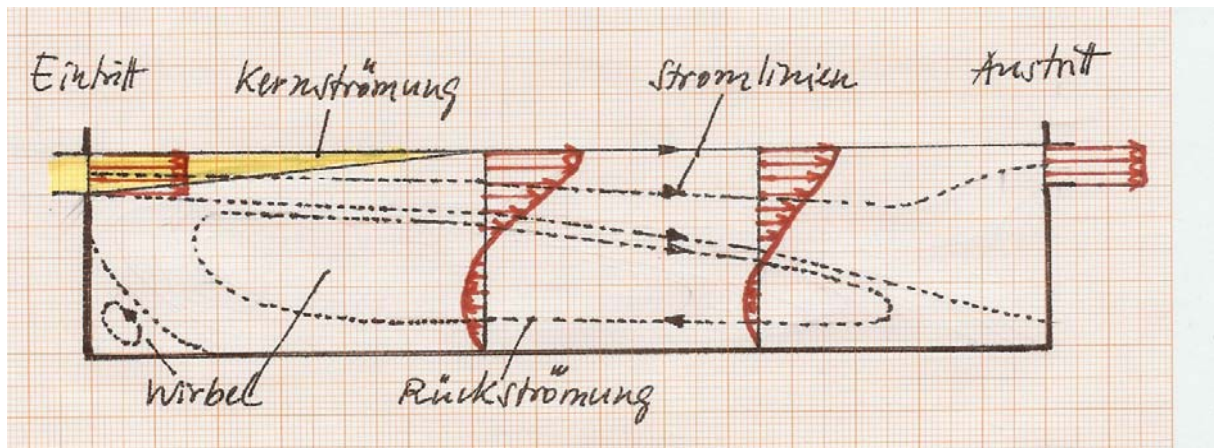


Bild 4 Längsschnitt durch einen Wasserumlaufkanal mit einer Zuströmung nur im oberen Teil der Messstrecke (Freistrahlsströmung)

Die Freistrahlsströmung über die Beckentiefe führt damit zu großen Fehlern der Wassergeschwindigkeit und Strömungsrichtung mit den bereits beschriebenen Auswirkungen auf die Antriebs- und Widerstandsverhältnisse bei den Sportlern.

Reicht der Zuströmquerschnitt nicht über die gesamte Beckenbreite, dann stellt sich auch über die Breite eine Freistrahlsströmung mit den bereits beschriebenen Auswirkungen ein.

### Schlussfolgerungen

Erstreckt sich die Zuströmung über den gesamten Messstreckenquerschnitt, dann werden bei Berücksichtigung der Reibungswirkung an den Wänden und für drallfreie Zuströmung Abweichungen der Wassergeschwindigkeit nur durch die Zuströmgeschwindigkeit verursacht. Durch sorgfältige strömungstechnische Gestaltung können diese im Bereich von wenigen Prozenten gehalten werden. In Strömungsrichtung ändert sich die Geschwindigkeit nicht, die Stromlinien sind exakt parallel.

Ist der Messstreckenquerschnitt entsprechend den oben beschriebenen Regeln ausgeführt und ist die Zuströmgeschwindigkeit gleichmäßig, ermöglicht sie eine vollständige Modellierung der Verhältnisse im Schwimmbecken. Bei mäßigen Abweichungen der Zuströmgeschwindigkeit kann man die Auswirkungen auf die Vortriebskraft bzw. die Armgeschwindigkeit mit den angegebenen Diagrammen abschätzen. Sie sind ebenfalls mäßig.

Erstreckt sich die Zuströmung nur über den oberen Teil der Messstrecke und geht die Armbewegung der Schwimmer über den Kernbereich der sich einstellenden Freistrahlsströmung hinaus, dann ergeben sich sehr große Fehler der Vortriebskraft, der Armgeschwindigkeit sowie der Widerstandskraft infolge der nicht parallelen Stromlinien. Unter diesen Umständen ist der Wasserumlaufkanal nicht für Diagnose und ernsthaftes Techniktraining geeignet.