

Mitteilung

Projektgruppe/Fachkreis: Experimentelle Aerodynamik

Messung des Luftwiderstands eines Zugmodells beim Durchfahren eines Tunnels

Klaus Ehrenfried und Daniela Heine

Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, DLR
Bunsenstraße 10, 37073 Göttingen
klaus.ehrenfried@dlr.de

Der aerodynamische Widerstand von Zügen im Tunnel ist gegenüber der Fahrt im Freien deutlich erhöht. Dies gilt insbesondere für neue eingleisige Doppelröhrentunnel mit relativ engem Querschnitt. Bei dem Entwurf von neuen Zügen, die auf Tunnelstrecken eingesetzt werden sollen, ist es daher wünschenswert den aerodynamischen Widerstand vorhersagen zu können. Der Widerstand im Freien kann in Windkanalmessungen an Modellen ermittelt werden, wobei sich zur Erzeugung einer realistischen Strömung im Unterbodenbereich ein laufendes Band unter dem Modell befindet. Die Idee ist es den aerodynamischen Widerstand im Tunnel mit einem bewegten Modell zu bestimmen, welches durch einen Modelltunnel fährt. So ist automatisch eine realistische Relativbewegung zwischen Zug und Tunnel gegeben. In der vorliegenden Arbeit werden entsprechende Untersuchungen in der Tunnelsimulationsanlage Göttingen (TSG) mit einem 16m langen Modelltunnel und einem Zugmodell im Maßstab 1:25 durchgeführt. Das Modell besitzt einen generischen Kopf. Der Wagenkasten und das Heck entsprechen einem ICE3. Das Modell wird mit Hilfe eines Katapults beschleunigt und bewegt sich dann durch Trägheit ohne Antrieb entlang einer Schienenstrecke durch den Modelltunnel. Dabei wird es durch mechanische und aerodynamische Reibung abgebremst. Die Verzögerung wird gemessen und daraus die Widerstandskraft berechnet. Führt man die Messungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten durch, können unter der Annahme, dass der aerodynamische Anteil quadratisch und der mechanische linear mit der Geschwindigkeit skaliert, die beiden Anteile getrennt werden. Dabei stellt sich die Frage, wie genau der aerodynamische Widerstand mit der beschriebenen Methode überhaupt bestimmt werden kann. Hier soll daher die Genauigkeit näher betrachtet werden, und es soll untersucht werden, von welchen Parametern die Genauigkeit im Wesentlichen abhängt.

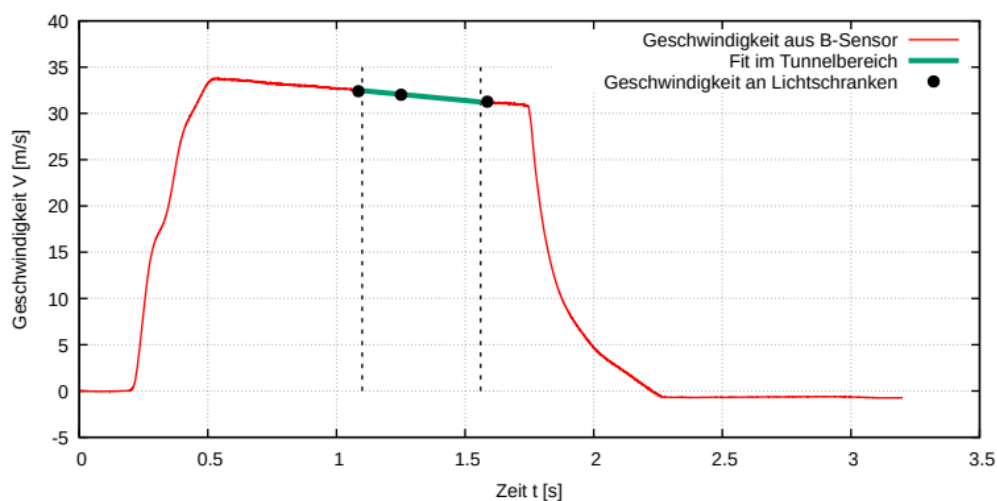


Abbildung 1: Verlauf der Geschwindigkeit des Zugmodells über der Zeit; Rote Kurve: Geschwindigkeit aus Integration der Beschleunigung; Schwarze Punkte: Geschwindigkeit aus den Lichtschrankensignalen; Grüne Linie: Anpassung im Tunnelbereich.

In der vorliegenden Arbeit werden zwei Methoden zur Messung der Verzögerung eingesetzt und miteinander verglichen. Zum einen wird die Beschleunigung direkt mit einem Sensor im Modell gemessen. Die Herausforderung ist dabei, dass der Sensor die relativ hohen Beschleunigungen von 50 g – und mehr – beim Start und beim Abbremsen des Modells verträgt und gleichzeitig Beschleunigungen deutlich unter 1 g zuverlässig messen kann. Die zweite Methode arbeitet mit drei Lichtschranken, durch die das Modell fährt. Zusätzlich ist der Tunnel mit Drucksensoren in der Wand ausgestattet. Um die Messtechnik im bewegten Modell mit der Datenerfassung am Tunnel zu synchronisieren, besitzt das Modell einen optischen Sensor an der Seite. Dieser zeichnet die Signale von beleuchteten Positionsmarkierungen am Ein- und Ausgang des Modelltunnels auf. Weitere Informationen über die eingesetzte Messtechnik sind in [1] zu finden.

In Abbildung 1 ist als Beispiel für eine Versuchsfahrt der Verlauf der Modellgeschwindigkeit über der Zeit aufgetragen. Die rote Kurve wurde aus den im Modell gemessenen Beschleunigungen durch Integration berechnet. Die schwarzen Punkte markieren Geschwindigkeiten, die aus den Signalen der Lichtschranken gewonnen wurden. Die gestrichelten Linien markieren den Zeitbereich in dem sich das Modell im Tunnel befindet. Bei $t = 0.2$ s startet das Modell. Es wird in dem Katapult auf ca. 34 m/s beschleunigt. Bei etwa $t = 0.5$ s verlässt das Modell das Katapult und die mechanische und aerodynamische Reibung bewirken ab da eine stete Verlangsamung. Bei etwa $t = 1.75$ s fährt das Modell in eine Bremse, wo es in einer Schüttung stark abgebremst wird. Auffällig ist, dass die Geschwindigkeit am Schluss nicht auf null zurück geht, wie man es theoretisch erwarten würde. Das rohe Beschleunigungssignal ist stark verrauscht. Anscheinend akkumuliert sich ein kleiner Fehler bei der Integration einseitig. Auf den ersten Blick passen die mit Hilfe der Lichtschranken ermittelten Werte zu der aus den Beschleunigungsdaten berechneten Kurve. Eine genauere Betrachtung zeigt jedoch auch systematische Abweichungen. Zum Beispiel besitzen die eingesetzten Lichtschranken bauartbedingt eine kleine Unsicherheit, so dass eine befriedigende Genauigkeit erst durch eine Mittelung über mehrere Versuchsfahrten erreicht wird. Die in der Abbildung eingezeichnete grüne Kurve ist eine Anpassung an die Verzögerung im Tunnel. Daraus ergibt sich in dem gezeigten Fall ein Gesamtwiderstand von ca. 12 N. Ungefähr die Hälfte davon macht der aerodynamische Anteil aus.

Parallel zu den experimentellen Untersuchungen werden Berechnungen durchgeführt, die auf einer quasi-eindimensionalen Modellierung der Strömung und der Druckwellen im Tunnel basiert. Die Modellierung benötigt empirische Parameter, die anhand von den gemessenen Wanddruckdaten kalibriert werden. Es wird dann der Verlauf des Widerstands berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass durch hin- und herlaufende Druckwellen erheblichen Schwankungen des aerodynamischen Widerstands im Tunnel auftreten. Die Berechnungen zeigen auch, dass der aerodynamische Widerstand im Tunnel nicht perfekt quadratisch mit der Fahrgeschwindigkeit skaliert.

[1] K. Ehrenfried, D. Heine: Pressure Waves and Flow Induced by a Train in a Tunnel. DOI: 10.1007/978-3-031-40482-5_6, 2023.