

# Die Bedeutung exekutiver Funktionen für die Fahrleistung in einem Formel 1 Simulator

Autoren: Michael Methlagl<sup>\*1</sup>, Alfred Nimmerichter<sup>1</sup>, Thomas Pekar<sup>2</sup>, Bernhard Prinz<sup>1</sup>

Fachhochschule Wiener Neustadt; <sup>1</sup>Fakultät Sport, Training und Sportwissenschaften,

<sup>2</sup>Fakultät Gesundheit, Biomedizinische Analytik

\*Korrespondierender Autor: Michael Methlagl, michael.methlagl@fhwn.ac.at

**Abstract.** Das Fahren mit einem Formel 1 Rennsimulator ist eine zielgerichtete Tätigkeit, welche sowohl körperlich als auch kognitiv herausfordernd ist. Bisherige Studien mit Fahrsimulatoren zeigen inkonsistente Ergebnisse bezüglich der Bedeutung kognitiver Prozesse (exekutive Funktionen) für Fahrleistungsindikatoren. Die vorliegende Studie überprüft, inwieweit die Fahrleistung in einem hochentwickelten Formel 1 Simulator mit den exekutiven Funktionen Arbeitsgedächtnis, Inhibition und kognitive Flexibilität korrelieren. An der Studie nahmen 19 männliche Probanden teil. Die Probanden absolvierten zu Beginn der Studie Tests zur Erhebung der exekutiven Funktionen. Im Anschluss wurden an vier Testtagen je eine Simulatorfahrt durchgeführt. Als Indikatoren für die Fahrleistung wurde die Bestzeit und die prozentuelle Veränderung von der langsamsten zur schnellsten Bestzeit über die vier Simulatorfahrten verwendet. Korrelationsanalysen zeigen, dass das Arbeitsgedächtnis als auch die Inhibitionsfähigkeit der Probanden nicht signifikant mit der prozentuellen Veränderung der Fahrleistung über die Fahrtermine zusammenhängen. Der Indikator für die kognitive Flexibilität ( $r = 0,48$ ,  $p = 0,044$ ,  $r^2 = 0,23$ ) korreliert hingegen positiv mit diesem Fahrleistungsindikator. Zwischen der Bestzeit und den gemessenen exekutiven Funktionen gab es keine signifikanten Zusammenhänge. Die vorliegenden Ergebnisse belegen die Bedeutung der kognitiven Flexibilität für die Verbesserung der Fahrleistung über den Untersuchungszeitraum.

**Keywords:** Formel 1 Simulator, Exekutive Funktionen, Arbeitsgedächtnis, Inhibition, Kognitive Flexibilität

## 1 EINLEITUNG

Das Fahren mit einem Formel 1 Rennsimulator ist eine komplexe zielgerichtete Tätigkeit, welche sowohl körperlich als auch kognitiv herausfordernd ist. Unter exekutiven Funktionen werden eine Reihe kognitiver Prozessen verstanden, welche u. a. für die Planung, Verhaltensauswahl, das Monitoring als auch die Anpassung des Verhaltens aufgrund von veränderten Bedingungen verantwortlich sind [1]. Zu den exekutiven Funktionen zählen das Arbeitsgedächtnis, die Inhibition und die kognitive Flexibilität [2, 3]. Das Arbeitsgedächtnis dient der kurzfristigen Speicherung, aktiven Aufrechterhaltung und Aktualisierung von aufgabenrelevanten Informationen [3]. Inhibition beschreibt die Hemmung von Verhaltensimpulsen, die für die Erreichung eines angestrebten Zieles in einer bestimmten Situation hinderlich sind [4]. Unter der kognitive Flexibilität wird die Fähigkeit verstanden zwischen Perspektiven zu wechseln, den Aufmerksamkeitsfokus zu wechseln und sich flexibel auf neue Anforderungen einstellen zu können [3].

Vorliegende Studien, welche an verschiedensten Fahrsimulatoren durchgeführt wurden, zeigen inkonsistente Ergebnisse bezüglich der Bedeutung einzelner exekutiver Funktionen für Fahrleistungsindikatoren [5]. Studien belegen, dass ein schlecht ausgeprägtes Arbeitsgedächtnis mit riskantem Fahrverhalten [5] und einer schlechten Spurwechselleistung [6] zusammenhängen. Eckardt, et al. [7] konnten hingegen in ihrer Studie mit einem Formel 1 Simulator zeigen, dass lediglich die Inhibition, nicht aber das Arbeitsgedächtnis ein signifikanter Prädiktor für die Fahrleistung (so schnell wie möglich zu fahren) ist. Auch Guinosso, et al. [8] Ergebnisse belegen, dass die Inhibition mit der Fahrleistung positiv zusammenhängen, nicht aber die kognitive Flexibilität.

Da Bedeutung exekutiver Funktionen für die Fahrleistung in einem Simulator bisher nur sehr selten untersucht [z. B. 7] wurde und die Ergebnisse wenig konsistent sind, ist das Ziel der vorliegenden Studie mögliche Zusammenhänge zwischen exekutiven Funktionen und der Fahrleistung in einem hoch entwickelten Formel 1 Simulator zu untersuchen.

## 2 METHODE

An der Studie nahmen zu Beginn 22 männliche Probanden teil<sup>1</sup>. Drei Personen beendeten ihre Teilnahme aufgrund von Schwindel und Übelkeit während der Fahrt im Simulator. Die Probanden ( $n = 19$ ; Alter:  $M = 30,4$  Jahre,  $SD = 10,4$  Jahre) absolvierten in der ersten Woche an zwei Tagen im Abstand von 48 Stunden Tests zur Erhebung der exekutiven Funktionen (siehe Abbildung 1).

*Arbeitsgedächtnis:* Das *Arbeitsgedächtnis* wurde mit einer modifizierte 2-back Aufgabe mit visuell-räumlichen Stimuli [9] erhoben. Bei diesem Test wird den Probanden eine Sequenz aus blauen Quadraten in unterschiedlichen Positionen am Bildschirm präsentiert. Jedes Quadrat ist für 500 Millisekunden sichtbar. Das Interstimulusintervall beträgt 2500 Millisekunden. Nach einem Übungsblock bestehend aus 10 Aufgaben, werden drei Aufgabenblöcke mit jeweils 22 Stimuli (blaues Quadrat) vorgegeben. Die Probanden sollen eine vordefinierte Taste drücken, wenn die aktuelle Position des dargestellten Quadrats mit der Position des Quadrats übereinstimmt, welches zwei Stimuli vorher in der Sequenz

---

<sup>1</sup> Die Probanden wurden über den Ablauf, Risiken und den Datenschutz schriftlich informiert und willigten in die Teilnahme ein.

präsentiert wurde. Bei der Bearbeitung der 2-back Aufgabe müssen die Inhalte des Arbeitsgedächtnis kontinuierlich aktualisiert werden. Für die Analysen wird von Jaeggi, et al. [10] empfohlene Kennwert „Treffer Rate minus Fehler Rate“ herangezogen.

*Verhaltensinhibition:* Zur Messung der Inhibition wurde die Stop-Signal Aufgabe [4] verwendet. Bei dieser Aufgabe wird die Fähigkeit ungewollte oder unpassende Handlungsimpulse unterdrücken zu können gemessen. Die Probanden sehen am Bildschirm einen Kreis mit einem nach links oder rechts zeigenden Pfeil (Stimulus) und müssen eine den Pfeilen zugeordnete Taste drücken, wenn dieser am Bildschirm erscheint. Die Pfeile sind für 2000 Millisekunden sichtbar (Interstimulusintervall: 500 Millisekunden). Ertönt kurz nach dem Stimulus ein Ton (Stop-Signal; Stop-Signal Delay zwischen 50 Millisekunden und 1150 Millisekunden nach dem Stimulus, welches in 50ms Schritten fortlaufend angepasst wird), sollte keine Taste gedrückt werden. Die Probanden bearbeiten zuerst 32 Testaufgaben und im Anschluss drei Aufgabenblöcke mit jeweils 70 Stimuli. Pro Aufgabenblock werden 18 Aufgaben mit einem Stopp Signal dargeboten und bei 54 Aufgaben ertönt kein Stopp Signal (Verhältnis 1:3). Der reaktionszeitbasierte Kennwert („stop-signal reaction time“) für die Inhibitionsfähigkeit der Probanden wurde nach der „integration method“ von Verbruggen, et al. [4] berechnet.

*Kognitive Flexibilität:* Die kognitive Flexibilität der Probanden wurde mit der number-letter Aufgabe [3] erhoben. Bei diesem Test erscheint am Bildschirm in einem von vier Quadranten (2x2 Matrix) ein Zeichenpaar bestehend aus einem Buchstaben und einer Zahl (z. B. 7B). Zu Beginn des Tests müssen die Probanden entscheiden, ob der dargebotenen Buchstabe ein Konsonant oder Vokal ist (Buchstabenaufgabe). Im Anschluss bearbeiten die Personen die Zahlenaufgabe. Bei dieser müssen sie entscheiden, ob die Zahl im präsentierten Zeichenpaar gerade oder ungerade ist. In der darauffolgenden kombinierten Aufgabe wandert das Zeichenpaar im Uhrzeigersinn durch die vier Quadranten. Wenn das Zeichenpaar in einem der oberen Quadranten erscheint, müssen sie die Buchstabenaufgabe lösen, wenn das Zeichenpaar in den unteren Quadranten erscheint müssen sie die Zahlenaufgabe lösen. Zu jeder Aufgabe gibt es Übungsaufgaben gefolgt von 32 Buchstabenaufgaben, 32 Zahlenaufgaben und 128 kombinierten Aufgaben. Als Kennwert für die kognitive Flexibilität wird der „accuracy switch costs“ Kennwert (Differenz der Anteile korrekter Antworten bei switch und non-switch Aufgaben) herangezogen.

Nach Absolvierung der kognitiven Tests wurden an vier Testtagen (Sessions) je eine Simulatorfahrt in einem Formel 1 Simulator (Racing Unleashed AG, Cham, CH; <https://www.racing-unleashed.com/>) durchgeführt (siehe Abbildung 1). Zwischen den einzelnen Simulatorfahrten lagen mindestens 48 Stunden. Alle Fahrten (ohne KI Gegner) wurden am Red Bull Ring mit einem Formula Hybrid X 2022 Evo durchgeführt. Nach einem standardisierten Aufwärmen über drei Runden, mussten die Probanden acht Runden so schnell wie möglich absolvieren. Als Indikatoren für die Fahrleistung wurde die Bestzeit und die prozentuelle Veränderung von der langsamsten zur schnellsten Bestzeit über die vier Simulatorfahrten verwendet.

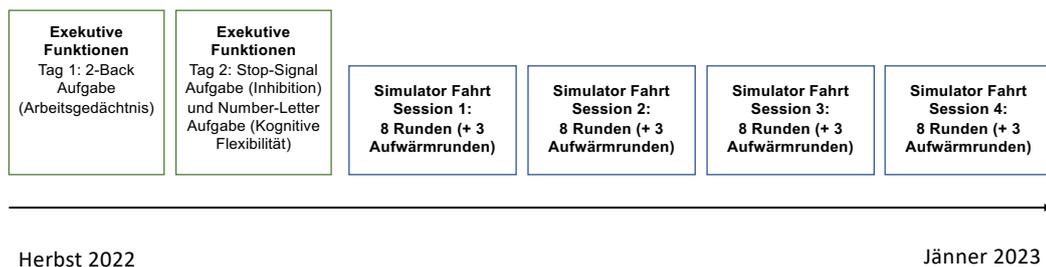


Abbildung 1: Studiendesign

### 3 Ergebnisse

Die durchschnittliche prozentuelle Veränderung von der langsamsten Bestzeit zur schnellsten Bestzeit beträgt 5,9% ( $SD = 2,26\%$ ). Der Mittelwert der schnellsten gefahrenen Runde beträgt 75,6 Sekunden ( $SD = 3,1$  Sekunden). Alle Variablen außer der Variable „schnellste gefahrenen Runde“ sind normalverteilt<sup>2</sup>. Korrelationsanalysen (siehe Tabelle 1) zeigen, dass das Arbeitsgedächtnis ( $r = 0,03$ ,  $p > 0,05$ ) als auch die Inhibitionsfähigkeit der Probanden ( $r = -0,21$ ,  $p > 0,05$ ) nicht signifikant mit der prozentuellen Veränderung der Fahrleistung über die Fahrtermine zusammenhängen. Der Indikator für die kognitive Flexibilität ( $r = 0,48$ ,  $p = 0,044$ ,  $r^2 = 0,23$ ) korreliert hingegen positiv mit diesem Fahrleistungsindikator. Je besser die kognitive Flexibilität ausgeprägt ist, desto höher ist die prozentuelle Verbesserung der Bestzeit über die einzelnen Fahrtermine. Zwischen der schnellsten gefahrenen Zeit in allen Sessions und den gemessenen exekutiven Funktionen gab es keine signifikanten Zusammenhänge.

Tabelle 1: Deskriptive Statistiken und Interkorrelationen (n=18-19)

	M	SD	1.	2.	3.	4.
1. Arbeitsgedächtnis: 2-back Aufgabe	0,695	0,209	-			
2. Verhaltensinhibition: Stopp-Signal Reaktionszeit in Millisekunden	274,44	50,19	0,123	-		
3. Kognitive Flexibilität: Accuracy switch costs in der number-netter Aufgabe	-0,07	0,05	0,414	-0,062	-	
4. Prozentuelle Veränderungen Sessionbestzeit	5,9%	2,26%	0,031	-0,216	0,48*	-
5. Schnellste gefahrene Zeit in Sekunden <sup>a</sup>	75,65	3,1	-0,059	-0,147	-0,035	0,358

Anmerkungen: n= 18-19; \*  $p < 0,05$  (2-seitig); Arbeitsgedächtnis: Treffer Rate - Fehler Rate; Verhaltensinhibition: Stopp-Signal Reaktionszeit nach der integration method; je höher dieser Wert desto schlechter die Inhibition; Kognitive Flexibilität: Differenz der Anteile korrekter Antworten bei switch und non-switch Aufgaben; je höher dieser Wert desto höher ist die kognitive Flexibilität; <sup>a</sup> Spearman Rangkorrelationen

<sup>2</sup> Lilliefors Test

#### 4 CONCLUSIO

Die vorliegenden Ergebnisse belegen die Bedeutung der kognitiven Flexibilität für die Verbesserung der Fahrleistung über den Untersuchungszeitraum. Die kognitive Flexibilität erklärt 23% der Varianz der Verbesserung der Fahrleistung über den Untersuchungszeitraum. Die vorliegende Studie zeigt keine Zusammenhänge zwischen dem Arbeitsgedächtnis und der Verhaltensinhibition mit dem Fahrleistungsindikator. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass bei der eingesetzten Strecke das Arbeitsgedächtnis nicht besonders stark gefordert wurde, da der Kurs relativ wenig Kurven etc. hat, die sich der Fahrer merken muss. Die Fähigkeit eines Fahrers einen Verhaltensimpuls zu inhibieren könnte womöglich unter anderen Fahrbedingungen wie das Fahren gegen KI Gegner etc. für die Fahrleistung relevanter sein, als in dem für diese Studie verwendeten Einzelfahren ohne KI Gegner. Limitationen der vorliegenden Studie beziehen sich vorrangig auf die eher geringe Stichprobengröße.

## 5 REFERENZEN

1. Salthouse TA. Relations between cognitive abilities and measures of executive functioning. *Neuropsychology* 2005; 19: 532-545. doi:DOI: 10.1037/0894-4105.19.4.532
2. Diamond A. Executive functions. *Annual Review of Psychology* 2013; 64: 135-168. doi:10.1146/annurev-psych-113011-143750
3. Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ et al. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology* 2000; 41: 49-100. doi:10.1006/cogp.1999.0734
4. Verbruggen F, Aron AR, Band GPH et al. A consensus guide to capturing the ability to inhibit actions and impulsive behaviors in the stop-signal task. *eLife* 2019; 8: e46323. doi:10.7554/eLife.46323
5. Walshe EA, Ward McIntosh C, Romer D et al. Executive function capacities, negative driving behavior and crashes in young drivers. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2017; 14: 1314. doi:10.3390/ijerph14111314
6. Mäntylä T, Karlsson MJ, Marklund M. Executive Control Functions in Simulated Driving. *Applied Neuropsychology* 2009; 16: 11-18. doi:10.1080/09084280802644086
7. Eckardt N, Roden I, Grube D et al. The Relationship Between Cognition and Sensorimotor Behavior in an F1 Driving Simulation: An Explorative Study. *Frontiers in Psychology* 2020; 11. doi:10.3389/fpsyg.2020.574847
8. Guinosso SA, Johnson SB, Schultheis MT et al. Neurocognitive Correlates of Young Drivers' Performance in a Driving Simulator. *Journal of Adolescent Health* 2016; 58: 467-473. doi:10.1016/j.jadohealth.2015.12.018
9. Jaeggi SM, Buschkuhl M, Perrig WJ et al. The concurrent validity of the N-back task as a working memory measure. *Memory* 2010; 18: 394-412. doi:10.1080/09658211003702171
10. Jaeggi SM, Studer-Luethi B, Buschkuhl M et al. The relationship between n-back performance and matrix reasoning — implications for training and transfer. *Intelligence* 2010; 38: 625-635. doi:10.1016/j.intell.2010.09.001