Buckle up!

Fahrsimulation als Zukunftstool der verkehrsmedizinischen Forschung

Die Verkehrsmedizin (VM) als gewachsener Teil der Rechtsmedizin unterliegt einem steten Wandel. So wie sich medizinische Grundlagen und Fahrzeugtechnik entwickeln, verändert sich auch die Gesellschaft, die den Auftrag der Verkehrsmedizin festlegt. Auch die VM der Schweiz in ihrer Sonderstellung ist mit Veränderungen konfrontiert, denen idealerweise durch aktive und vorausschauende Anpassung von Prozessen und evidenzbasierte Forschung zu begegnen ist. Basierend auf einer historischen Einordnung wird das Tool Fahrsimulation (FS) als ein – die rechtsmedizinische Forschung auch insgesamt – bereichernder Ansatz diskutiert.

Seismograph Auto

Das Führen eines Motorfahrzeugs hat sich von einem Privileg weniger nahezu zu einem Grundrecht aller entwickelt [1]. Beides lässt sich auf wirtschaftlicher Basis motivieren: Zunächst hatten nur wenige die finanziellen Mittel für ein Motorfahrzeug; heutzutage bildet das Fahrzeug oder das Recht, ein Fahrzeug zu führen, oft die Grundlage der wirtschaftlichen Existenz. Darüber hinaus ist das Führen eines Automobils psychologisch inzwischen nahezu untrennbar mit dem Gefühl der Freiheit verknüpft worden. Autofahren ist also in den Augen vieler ein Quasigrundrecht, das nahezu den Maslow-Grundbedürfnissen zugerechnet werden kann (Individualbedürfnisse: [2, S. 381 f.]).

Vor diesem Hintergrund ist nachvollziehbar, dass Kontrolle oder Entzug der Fahrerlaubnis oder auch die Verschär-

fung von Regularien im Verkehr insgesamt Seismographen der „Stimmungslage“ sowohl des Individuums als auch der Gesellschaft sind (aktuell: [3]). Als soziale Situation trägt der Verkehr aber für das Individuum inhärent in sich ein Dilemma: Obwohl nahezu jeder Bürger in irgendeiner Form am Verkehr teilnimmt und sich ein hohes Maß an Sicherheit und Schutz wünscht, werden regulierende, kontrollierende oder korrektive Eingriffe in das eigene Verkehrsverhalten oft negativ aufgenommen. Im „worst case“ schwinden Akzeptanz und Einhaltung der Regeln. Für ein breit akzeptiertes Regelwerk müssen sich alle am gesellschaftlichen Auftrag „Verkehrssicherung“ Beteiligten immer wieder im demokratischen Prozess abstimmen. Hierbei müssen sie ihre Rolle hinterfragen, ihre Arbeit methodisch kontinuierlich modernisieren sowie ihre evidenzbasierten Vorschläge und Entscheidungen nachvollziehbar vermitteln. Neben dem zentralen Akteur „Fahrzeuglenkende(r)“ schließt dies die Legislative (als Vertreter der Gesellschaft), die Jurisdiktion, die Polizei, die Straßenverkehrsämter und nicht zuletzt die VM ein.

Auftrag und historische Entwicklung

Als gewachsenes Teilgebiet der Rechtsmedizin begutachtet die heutige VM, ob die medizinischen (Mindest-)Anforderungen, die an eine Fahrfähigkeit oder Fahreignung für eine Führerausweiskategorie gestellt werden, erfüllt sind, waren oder unter welchen Voraussetzungen sie – nach Verstoß oder Krankheit – wiedererlangt werden können. Sie nimmt zu-

dem Stellung in Streitfragen über Fahrfähigkeit und Fahreignung.

Der in der Schweiz verwendete Begriff „Fahrfähigkeit“ – synonym zum in Deutschland gebräuchlichen Begriff „Fahrsicherheit“ – bezeichnet die momentane, zeitlich umschriebene und ereignisbezogene, physische und psychische Befähigung zum sicheren Führen eines Motorfahrzeugs im Straßenverkehr.

Abkürzungen

ADHS	Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätsstörung
AK	Abstinenzkontrolle
EU	Europäische Union
FS	Fahrsimulation
GHB	γ-Hydroxybutyrat
MDMA	Methylenedioxy-N-methylamphetamin
MFV	Bundesgesetz über den Motorfahrzeug- und Fahrradverkehr
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
ORT	„On road testing“
OSA(S)	Obstruktive(s) Schlaf-Apnoe(-Syndrom)
SFST	Standard Field Sobriety Test
StVO	Straßenverkehrsordnung
SVA	Straßenverkehrsamt
SVG	Straßenverkehrsgesetz (Schweiz)
SWD	„Shift workers disease“
VM	Verkehrsmedizin
VMU	Verkehrsmedizinische Untersuchung
VZV	Verkehrszulassungsverordnung (Schweiz)

	I. Kategorie. Führer von schweren Motorwagen zur gewerbmässigen Ausführung von Personentransporten (Art. 35, Abs. 1, lit. c, MFV).	II. Kategorie. 1. Führer von leichten Motorwagen zur gewerbmässigen Ausführung von Personentransporten (Art. 35, Abs. 1, lit. b, MFV); 2. Fahrerlehrer (Art. 32 MFV); 3. a) Führer von schweren Motorwagen zum Gütertransport (Art. 35, Abs. 1, lit. d, MFV); b) Führer von Traktoren (Art. 35, Abs. 1, lit. e, MFV), bei denen Zweifel über körperliche oder geistige Eignung bestehen, oder die das 65. Altersjahr überschritten haben.	III. Kategorie. Führer von leichten Motorwagen (Art. 35, Abs. 1, lit. a, MFV); Führer von Motorrädern mit oder ohne Seitenwagen (Art. 35, Abs. 1, lit. f, MFV); Führer von Dreirädern (Art. 35, Abs. 1, lit. b, MFV); Führer von Elektromobilen (Art. 35, Abs. 1, lit. i, MFV), bei denen Zweifel über körperliche oder geistige Eignung bestehen, oder die das 65. Altersjahr überschritten haben.
1. Grösse	165 cm.	Nicht unter 155 cm.	
2. Brustumfang	Mittelwert Hälfte Körperlänge.		
3. Nervensystem	Keine Nerven- und keine Geisteskrankheiten, keine Psychopathie, keine ethischen und geistigen Defekte, kein Alkoholisismus, keine sonstigen Süchte, welche die Tauglichkeit des Führers herabzusetzen vermögen.	Keine Nerven- und keine Geisteskrankheiten, keine Psychopathie, keine ethischen und geistigen Defekte, kein Alkoholisismus, keine sonstigen Süchte, welche die Tauglichkeit des Führers herabzusetzen vermögen.	Keine Nerven- und keine Geisteskrankheiten, keine Psychopathie, keine ethischen und geistigen Defekte, kein Alkoholisismus, keine sonstigen Süchte, welche die Tauglichkeit des Führers herabzusetzen vermögen.
4. Gesicht	Schärfte beidseitig unkorrigiert minimal 0,8; eventuell, wenn ein Auge unkorrigiert 1,0. Minimalanforderung für das andere unkorrigiert 0,5. Keine schwere Farbsinnanomalie, keine Einschränkung des Gesichtsfeldes, keine Nachtblindheit, kein Doppelsehen, kein Schielen, kein einseitiges Sehen, keine chronische Bindehautentzündung.	Schärfte beidseitig korrigiert minimal 0,8; eventuell, wenn ein Auge korrigiert 2,0. Minimalanforderung für das andere korrigiert 0,5. Keine schwere Farbsinnanomalie, keine Einschränkung des Gesichtsfeldes, keine Nachtblindheit, kein Doppelsehen, kein einseitiges Sehen, kein Linsenverlust. Bewerber, welche die verlangte Schärfte nur mit einer Brille erreichen, sind zum Tragen der Brille während der Fahrt und zum Mitführen einer Reservebrille zu verpflichten.	Ein Auge korrigiert minimal 0,6, anderes Auge korrigiert minimal 0,1. Einseitige korrigiert oder unkorrigiert minimal 0,8. Keine Nachtblindheit, kein Doppelsehen. Bewerber, welche die verlangte Schärfte nur mit einer Brille erreichen, sind zum Tragen der Brille während der Fahrt und zum Mitführen einer Reservebrille zu verpflichten. Einseitige sind beim Fahren im offenen Motorfahrzeug zum Tragen von geeigneten, bei Frost und Nebel nicht anlaufenden Schutzbrillen zu verpflichten.
5. Gehör	5 m Flüstersprache auf jedem der beiden Ohren. Gehörhilfsmittel, Hörapparate usw. sind unzulässig.	2 m Flüstersprache auf dem bessern und 1 m Flüstersprache auf dem schlechteren Ohr. Gehörhilfsmittel, Hörapparate usw. sind unzulässig.	6 m Konversationsprache auf jedem Ohr. Liegt die Hörweite auf einem Ohr tiefer, so muss das bessere Ohr die entsprechende Mehrdistanz über 6 m, also bei einseitiger Taubheit 12 m für Konversationsprache aufweisen. Gehörhilfsmittel, Hörapparate usw. sind unzulässig.
6. Hals	Kein Struma mit Atembeschwerden.	Kein Struma mit Atembeschwerden.	Kein Struma mit Atembeschwerden.
7. Brustkorb und Wirbelsäule	Keine Missbildungen, welche die Atmung und Beweglichkeit beeinträchtigen.	Keine schweren Missbildungen, welche die Atmung und Beweglichkeit beeinträchtigen.	Keine schweren Missbildungen, welche die Atmung und Beweglichkeit beeinträchtigen.
8. Respirationsorgane	Keine aktive Lungentuberkulose, keine chronischen Lungenerkrankungen, kein Asthma.	Keine chronische Lungenerkrankung und kein Asthma, welche die allgemeine Leistungsfähigkeit beeinträchtigen.	
9. Herz und Gefässe	Keine organischen Herz- und Gefässkrankheiten, kein dauernd hoher Blutdruck.	Keine Insuffizienzerscheinungen oder Kompensationsstörungen. Kein dauernd hoher Blutdruck mit Begleitsymptomen.	Keine erheblichen Störungen des Zirkulationsapparates, welche die Leistungsfähigkeit beeinträchtigen könnten.
10. Bauchorgane und Brüste	Keine erheblichen Funktionsstörungen des Magen-Darm-Systems und der grossen Körperdrüsen. Kein Vorfall von Organen. Keine Leisten- oder andern Brüche.	Keine erheblichen Funktionsstörungen des Magen-Darm-Systems und der grossen Körperdrüsen.	
11. Urin	Chronische Albuminurie und Diabetes sind Ausschlussgründe.	Nephritis mit sekundären Veränderungen und erheblicher Diabetes sind Ausschlussgründe.	Bei Zucker und Eiweiss nach Gutachten des Arztes.
12. Gliedmassen	Volle funktionelle Leistungsfähigkeit; keine Verkrümmungen, Verkürzungen, Verstümmelungen, Versteifungen oder Lähmungen, welche die sichere Führung hindern.	Für das sichere Führen genügende funktionelle Leistungsfähigkeit.	Für das sichere Führen genügende funktionelle Leistungsfähigkeit. In besonderen Fällen Beurteilung der relativen Tauglichkeit.
13. Wiederholung der Untersuchung	Bis 45 Jahre alle 3. nach Vollendung des 45. Altersjahres alle 2 Jahre, und ausserdem nach schweren Krankheiten und Unfällen. In besonderen Fällen kann der Vertrauensarzt eine kürzere Periode beantragen.	Alle 3 bis 5 Jahre, nach Antrag des Arztes.	Nach Antrag des Arztes.

Abb. 1 ▲ Mindestanforderungen nach Fahrausweiskategorien gemäß dem Schweizer Bundesgesetz über den Motorfahrzeug- und Fahrradverkehr (MFV) aus dem Jahr 1932

Der Begriff Fahreignung bezeichnet die allgemeinen, zeitlich nicht umschriebenen und nicht ereignisbezogenen, physischen und psychischen Voraussetzungen zum sicheren Führen eines Motorfahrzeugs.

Dieser – zumindest in der Schweiz – recht klar definierte und institutionalisierte Auftrag entwickelte sich aus drei anderen nicht synchron verlaufenden historischen Geschehnissen:

- Entwicklung und Verbreitung von Fahrzeugen (Zahl, Dichte, Leistung und Technik) mit der daraus resultierenden Formulierung von (Straßen)Verkehr(sregeln),
- damit einhergehende Entwicklung von Regeln für den Erhalt (und später die Beibehaltung) einer Fahrerlaubnis und
- veränderte technische, gesellschaftliche und medizinische Sicht auf das

Fahrzeug selbst sowie das Fahren eines Fahrzeugs.

Bei den ersten tödlichen Unfällen mit motorisierten Fahrzeugen [4, 5] und der Frühzeit des Automobilismus bestand die Aufgabe der Rechtsmediziner („coroner“) vorwiegend in der Feststellung des Unfallhergangs und der Todesursache, aber nur ansatzweise in der Einschätzung bzw. Begründung einer Unachtsamkeit als Grundlage für eine Schuld festgestellt. Damals waren also die Anfänge der Unfallrekonstruktion und der forensischen Traumatologie, wie sie heute noch z. B. in der deutschen Verkehrs-/Rechtsmedizin als Schwerpunkte existieren, schon klar angelegt. Gleichzeitig entsprach die „behördliche“ Fahrerlaubnis zunächst eher einer Registrierung [6], und auf der Straße galten kaum andere Regeln als die tradierten Umgangsregeln. Wie bei nahezu allen

technischen Neuerungen wurde eine Vielzahl von positiven und negativen Effekten des Autofahrens postuliert, denen aber sämtlich die wissenschaftliche Grundlage fehlte.

Mit zunehmender Verbreitung von Motorfahrzeugen, also der eigentlichen Entstehung des umgangssprachlich heute so genannten Verkehrs und seiner Verdichtung insbesondere in Städten, entstand die Notwendigkeit allgemein verbindlicher Verkehrsregeln und den Verkehr steuernder technischer Einrichtungen (u. a. Ampeln, Verkehrspolizist). So wurden in Deutschland 1909 in der *Reichs-Straßenverkehrsordnung* (mittlerweile StVO) erste Verkehrsregeln festgelegt und z. B. die Höchstgeschwindigkeit für alle Fahrzeuge auf 15 km/h begrenzt. Erstmals war auch ein Führerscheinverlust möglich [7]. Für die Schweiz sollen hier die vergleichbaren Konkordate aus den Jahren 1904 und

1914 sowie der Beitritt der Schweiz zur internationalen Übereinkunft über den Automobilverkehr genannt sein [8]. In jeweils länderspezifischer und kantonsspezifischer Ausprägung musste daraufhin das Autofahren zunehmend regelhaft erlernt werden, und eine Fahrerlaubnis wurde erst nach Prüfung der Fahrkompetenz erteilt. Hierbei dominierte klar die Fähigkeit zur Handhabung des Fahrzeugs.

Aus wirtschaftlichen und sozialen Gründen stellte sich die Frage nach medizinischen Voraussetzungen für einen Führerschein in der Realität zunächst nicht. Allerdings traten mit Beginn der 1920er-Jahre medizinisch/pharmakologische Aspekte in der Schuldfeststellung zunehmend in den Vordergrund, wobei der Einfluss von Alkohol und Drogen vorherrschte. Die Erkenntnisse aus derartigen Erhebungen mündeten zunächst nicht in Verboten.

Wegweisende gesetzliche Grundlagen und ihre Entwicklung bis heute

Vor diesem Hintergrund stellt das ab 15.03.1932 geltende Schweizer „Bundesgesetz über den Motorfahrzeug- und Fahrradverkehr“ (MFV) eine nahezu unvermittelt frühe und wegweisende Zäsur für die gesamte VM dar. Unter Beibehaltung der wesentlichen verkehrsmedizinischen Inhalte wurde das MFV 1959 vom Straßenverkehrsgesetz (SVG) abgelöst und ab 1976 von der Verkehrszulassungsverordnung (VZV) flankiert.

Das Gesetz führte in der Schweiz 3 nach Leistung und Gefährdung gestaffelte Fahrausweiskategorien ein (Abb. 1), die im Wesentlichen in dieser Form bis zur Einführung der EU-Fahrausweisverordnung im Rahmen einer Revision der VZV im Jahr 2016 bestehen blieben.

Der Auftrag der VM wird hier erstmals klar umrissen: Das MFV schrieb eine erstmalig eine umfassende „ärztliche Prüfung“ der physisch-medizinischen „Minimalanforderungen an Bewerber um einen Führerausweis oder Fahrlehrerausweis“ vor. Neben Anforderungen an die Größe, die Funktion bzw. Beweglichkeit der Gliedmaßen und der Wirbelsäule wurden u.a. Personen mit neurologischen und psychischen

Rechtsmedizin 2020 · 30:283–291 <https://doi.org/10.1007/s00194-020-00418-9>
© Der/die Autor(en) 2020

A. Lange · K. Keller · S. Lakämper

Buckle up! Fahrsimulation als Zukunftstool der verkehrsmedizinischen Forschung

Zusammenfassung

Die Verkehrsmedizin als Teil der Rechtsmedizin erfüllt in der Schweiz eine wichtige präventive Aufgabe in der Sicherung aller Verkehrsteilnehmer: Sie begutachtet die medizinisch basierte Fahrfähigkeit und Fahreignung. Als empirisch konsolidiertes Querschnittsfach hat sie Informationen aus einer Vielzahl von medizinischen Fachgebieten. Wie reagiert die Verkehrsmedizin aber auf den vermehrten Anspruch evidenzbasierter Gutachten und auf anstehende Herausforderungen?

Über einen historischen Abriss motivierten wir die Vorteile und das Potential einer teilweise durch Fahrsimulation ergänzten Untersuchung und einer dediziert auf Fahrsimulation basierenden, klinisch-prospektiven Forschung.

Neben vorhandener Literatur stützen sich historische Aspekte u.a. auf vorhandene Expertise. Die Bewertung der Fahrsimulation für die Verkehrs- bzw. Rechtsmedizin der Schweiz stützt sich auf die Diskussion selektierter Literatur.

Auftrag und Anspruch der Verkehrsmedizin haben sich mehrfach verändert. Eine übersichtsartige Betrachtung existenter Literatur legt nahe, dass massgeschneiderte Fahrsimulatoren Teil einer modernisierten Verkehrsmedizin sein können, um anstehende Herausforderungen adäquat adressieren zu können. Bisher existiert kein derartiges dediziertes Forschungsinstrument in der Schweiz.

Eine auf verkehrsmedizinische Fragestellungen massgeschneiderte, realitätsnahe und niedrigschwellige Fahrsimulation als Werkzeug für klinische Studien und Individualuntersuchungen verspricht neben einer wissenschaftlichen Produktivität einen umsetzbaren und vermittelbaren Mehrwert für das übergeordnete Ziel der Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer.

Schlüsselwörter

Verkehrsmedizin · Fahrsimulation · Klinische Studien

Buckle up! Driving simulation as a future tool for research in traffic medicine

Abstract

Traffic medicine is a specialty field of legal medicine. It plays an important preventative role to improve overall traffic safety by assessing the long- and short-term fitness-to-drive on the medical level. For this assessment, it is necessary to integrate information across a broad range of medical disciplines. Despite this inherently integrative potential, traffic medicine has not been able to emancipate itself as fully recognized special discipline. How can traffic medicine meet the increased demand for evidence based assessments and overall societal challenges? By way of a historical summary of the field and its changing needs, we motivate the advantages and the potential of driving simulation for both the assessment for the fitness-to-drive itself and dedicated clinical studies in traffic medicine.

Apart from literature sources, historical aspects are partly derived from existing expertise. The assessment of driving

simulation for traffic medicine is the result of the review of selected literature. Both the mandate and the claim of traffic medicine have changed over the years. A selected literature review suggests that customized driving simulators should be part of a modernized traffic medicine (research), in order to be able to address incoming challenges in an adequate fashion. So far, no such instrumentation exists in Switzerland. Realistic and low threshold driving simulators, tailored as tool for both clinical research and amended individual tests in traffic medicine research promise not only evidence-based scientific outcomes and, thus, a better understanding for traffic medicine, but also added-value to easier communicate with all stakeholders, thus making traffic safer for everybody.

Keywords

Traffic medicine · Driving simulation · Clinical studies

Abb. 2 ▲ Anzahl und personenbezogene Dichte von Personenwagen in der Schweiz 1902–2005. (Historisches Lexikon der Schweiz [9])

Erkrankungen, einschließlich Alkohol- und Suchterkrankungen, Diabetes, chronischen Herz- und Gefäß- und Lungenerkrankungen sowie mit Funktionsstörungen der großen Körperdrüsen ausgeschlossen. Zur Sehkraft wurden für jede Kategorie spezifische Anforderungen, einschließlich der Verpflichtung zum Tragen von Brillen, gestellt. Neben diesen umfassenden Ausschlusskriterien wurde bemerkenswerterweise die Wiederholung der Überprüfungen dieser Minimalanforderungen festgelegt: turnusmäßig ab einem festgelegten Alter (z.B. Kategorie I: 45 Jahre), turnusmäßig ohne Alter oder auf Anweisung des Arztes.

Wenngleich das Bundesgesetz die Anforderungen schweizweit festlegte, blieb doch die Bestimmung der Ausführung dieser Untersuchung den Kantonen überlassen. Zudem waren Gesetzgebung und assoziierte Verordnungen in der Umsetzung den zeitgenössischen und weltgeschichtlichen Gegebenheiten unterlegen: So zog die wirtschaftliche Krise Anfang der 1930er-Jahre z.T. konfliktvolle kantonale Auslegungen der Gesetze mit erfolglosen Harmonisierungsversuchen seitens des Bundes (Anleitung des Bundes für

Vertrauensärzte, 1938¹) nach sich. Nachfolgend hatte der Zweite Weltkrieg mit der einhergehenden Abnahme der Fahrzeugdichte [9] Einschränkungen bzw. Lockerungen sowie Verwässerungen in der Umsetzung der Bundesgesetze zur Folge. Ab 1944 wurde die Anleitung des Bundes für Vertrauensärzte dahingehend verändert, dass zur Verminderung der Kosten eine Vereinfachung bzw. sogar ein Verzicht auf Wiederholungsuntersuchungen in höheren Fahrausweiskategorien angeordnet wurde.²

Die nach dem Zweiten Weltkrieg rasch einsetzende Explosion des Verkehrs (Abb. 2; [9]) resultierte allerdings nicht direkt in einer erneuten Straffung der Praxis. Im Gegenteil wurde bis mindestens 1968 auf eine obligatorische verkehrsmedizinische Untersuchung (VMU) von Bewerbern vollständig verzichtet (Schneebeli, persönl. Kommunikation, 2020).

Einhergehend mit dem rasanten Anstieg an Verkehrstoten bis Anfang der 1970er-Jahre trat ein gesellschaftlich/technischer Wandel ein: Die Fahrzeugentwicklung legte zunehmend Fokus

auf Fahrzeugsicherheit, und die Anschnallpflicht wurde nach langer Diskussion und mehrfachen Rückschritten schrittweise Realität [10]. Nicht zuletzt wurde auf der Basis erster groß angelegter systematischer Untersuchungen von Unfallhäufigkeiten durch Borkenstein ([11, 12], Grand Rapids Study), Allsop [13] und nachfolgend Compton [14] auch der gesellschaftlich bis dahin weitverbreitete Alkoholkonsum fahrführender Personen eingeschränkt. In Deutschland erfolgte die schrittweise Veränderung von Promillegrenzen und dazugehörigem Strafmaß ab den 1950er-Jahren (1953: 1,5 ‰, nur Ordnungswidrigkeit; 1966: 1,0 ‰, 1973: 0,8 ‰; [7]; erste dokumentierte Strafe [beachte: kein Entzug der Fahrerlaubnis] für Fahren unter Alkoholeinfluss [15]).

Der verkehrsmedizinische Auftrag wurde etwas verzögert angepasst und verschärft. Mit der Revision der Schweizer VZV im Jahr 1976 wurde die VMU für Bewerber der höheren Kategorien erneut obligatorisch. Ebenso wurde eine Seniorenuntersuchung für alle Kategorien ab 70 Jahren eingeführt, die bis zu einer Anhebung des Alters auf 75 Jahre für Pkw-Lenker im Jahr 2019 Bestand hatte. Die Durchführung der VMU wurde allerdings weiterhin kantonal geregelt.

¹ Schneebeli, persönl. Kommunikation, 2020

² Schneebeli, persönl. Kommunikation, 2020

Parallel rückten medizinische Einschränkungen der Fahrfähigkeit und Fahreignung *nach* Erhalt der Fahrerlaubnis in den Vordergrund. So führten der zunehmende Genuss- und Suchtmittelgebrauch im Laufe der 1970er- und 1980er-Jahre zu einer deutlichen Erweiterung des Auftrags der VM in Richtung Suchtmittel- bzw. Abstinenzkontrolle (AK).

Unter dem wachsenden „Zivilisationsdruck“ und allen damit einhergehenden gesundheitlichen Belastungen bedarf die dauerhaft und zunehmend anspruchsvolle Aufgabe „Autofahren“ ausreichender physischer, psychologischer und kognitiver Leistungsreserven [16], um ein Fahrzeug sicher lenken zu können. Diese Erkenntnis schlug sich Anfang der 1980er-Jahre im Standardwerk *Der Kranke als Fahrzeuglenker* [1] nieder. Vorgängig, aber insbesondere im Nachgang fokussierte sich die VM auf die detaillierte Ausarbeitung sowie Ergänzung von Leit- und Richtlinien, indem sie die Informationen aus allen relevanten medizinischen Fachrichtungen zusammentrug. Das so entstandene Querschnittsfach VM konsolidierte sich also zunehmend, blieb aber weitestgehend passiv in der Erarbeitung eigener und spezifischer Ansätze, die die besonders herausfordernde Situation „Autofahren“ untersuchte. Zudem blieb die Ausführung der VMU in kantonalen Regie, bis schließlich mit der Revision der VZV 2016 die schweizweite Einführung eines Stufensystems die Grundlage für eine Professionalisierung bzw. Harmonisierung der Prozesse legte.

Insbesondere der Aspekt der Harmonisierung trägt der bis dato recht umfassenden und für den Exploranden oft schwer verständlichen und als „Gängelung“ empfundenen Praxis einer umfassenden kursorischen VMU Rechnung. Dennoch: Nicht nur aufseiten des „Kunden“, sondern auch aufseiten der Jurisdiktion entstand über die Jahre ein zunehmender Wunsch nach besser nachvollziehbaren und auf wissenschaftlicher Grundlage besser belegbaren Entscheidungen.

Bisherige Limitationen der verkehrsmedizinischen Forschung

Der oben genannten Forderung steht eine vergleichsweise geringe Zahl dedizierter VMU gegenüber. Dies mag einerseits in der Anlage der VM als Querschnittsfach begründet sein: Kriterien, die das Autofahren einschränken, wurden v.a. aus Studien in den eigentlichen Fachgebieten und in der Zusammenschau aller betrachteten Faktoren einer Einzelfallbetrachtung zugeführt. Andererseits ist die VM mit einem bisher vorwiegenden Dienstleistungscharakter kaum in der Lage, umfassende klinische Forschung zu realisieren. Schlussendlich sind die durchaus begründeten Ansprüche und Forderungen an systematische Untersuchungen und die Belastbarkeit der sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen – selbst bei Fokussierung auf ein selektiertes Thema – zunächst inhärent schwierig.

Während also bisher Teilinformationen und Surrogatsysteme zu erfahrungs- und konsensbasierter Beurteilung von Fahrfähigkeit und -eignung herangezogen wurden, zeichnet sich ein weiterer Paradigmenwechsel ab: Die getroffenen Beurteilungen müssen zunehmend wissenschaftlich belegt oder zumindest plausibilisiert werden. Bisher angenommene oder erfahrungsbasierte „Fakten“ bedürfen bei genauer Überprüfung der Datenglage ggf. einer erneuten klaren Plausibilisierung durch Studien zur Fahreignung [17, S. 155 ff.]. Selbst bei solch klassischen Fragestellungen wie dem Substanzabusus sind die Plausibilität und Übertragbarkeit der Schlussfolgerungen unter Einbezug von Variablen wie Wahrscheinlichkeit der Nutzung und Persönlichkeit zu prüfen. Auch juristisch ist nicht die Bewertung des „Idealen“, sondern nur des „Realen“ von Belang [17]. So ist bei vielen Suchtstoffen, deren Konsum angenommen „klar“ eine Fahruntfähigkeit nach sich zieht, nicht ausreichend bekannt, welche Effekte tatsächlich in Rausch-, Abkling- und Erholungsphase, aber auch während „flashbacks“ etc. auf die Fahreignung vorliegen und welchen Bezug sie zu einem Unfallrisiko haben [17]. Die einfache Lösung ist die Nulltoleranz.

Aber wie bewertet man *in realiter* z. B. die Schmerztherapie Morphin oder die medizinisch indizierte Gabe von Cannabis, wie sie in Deutschland praktiziert wird?

Während in vielen dieser Fragekomplexe aufwendige und langwierige klinische (Längsschnitt-)Studien wünschenswert und notwendig wären, sind Anspruch und Realität von verkehrsmedizinischer Forschung oft nur schwer in Einklang zu bringen, da die vorhandenen Ansätze bisher limitiert oder limitierend waren. Die retrospektive Untersuchung von Fallzahlen oder die epidemiologische Validierung von Unfallrisiken kann nicht aktiv und systematisch gesteuert werden. Die Verwendung von Surrogatsystemen (psychomotorische Vigilanztests, Fragebogen etc.) sowie Fahrversuche im Realverkehr können entweder aufgrund ihrer Repräsentanz oder ihrer Nichtreproduzierbarkeit kritisiert werden. Der Ansatz der FS bietet mit Hinsicht auf die Ansprüche an Studien den herausragenden Vorteil, reproduzierbare Szenarien in sicherer Umgebung durchführen zu können.

Fahrsimulation – Technik, digitale Inhalte und Aspekte des Studiendesigns

Grundsätzlich zielt FS auf – für die Fragestellung ausreichend – wirklichkeitsgetreue Testsituationen für klinischen Studien ab. Dabei sind die schlussendlichen technischen Einrichtungen ebenso divers wie die Zielrichtung und damit das Studiendesign [18]. Unter dem Begriff „Fahrsimulation“ treten auf der reduziertesten Ebene neben konsolenbasierten Rennspielen mit Lenkrädern und Pedalen mit „force feedback“ (haptische „cues“) auch maximal reduzierte Spurverfolgungsszenarien auf PC-Basis auf (Strichzeichnungen). Auf etwas höherer Ebene bieten unbewegte (Teil-)Fahrzeuge („mock-ups“) in Kombination mit bildschirm- oder projektionsbasierten Inhalten eine dem realen Auto angenäherte Fahr- und Umgebungssituation sowie ein verbessertes „Eintauchen“ („immersion“) in die digitalen Inhalte („visual cues“). Die teilweise oder vollständige Bewegung eines Mock-up oder einer Teilkarosserie zielt darauf

ab, haptische und visuelle Eindrücke mit physischen Reizen zu verbinden, die dem Fahrer zusätzlich den Eindruck von Bewegung und Beschleunigung vermitteln („motion cues“). Ansätze einer solchen Dynamik können im kleinen Maßstab durch Stempel unter dem Fahrzeugchassis erreicht werden, während eine nahezu reale Dynamikempfindung nur mit immensem technischen und räumlichen Aufwand erreicht werden kann: so können z.B. durch die Platzierung eines Fahrzeuges samt Projektionseinrichtung auf einer Stewart-Plattform (auch Hexapod genannt) translationale *motion cues* in die Raumrichtungen x, y, z (vor/zurück, rechts/links, hoch/runter), aber auch Drehbewegungen um die x-, y- und z-Achse vermittelt werden (rollen, nicken und gieren). Zur Vermittlung der Empfindung in langgezogenen Kurven oder bei längerer Be- oder Entschleunigung kann die Stirling-Plattform *in toto* noch über lange (realisiert bis zu 120 m) Wegstrecken in x- und y-Richtung bewegt werden.

Geräte der letzten „Klasse“ sind nahezu ausschließlich in der Automobilindustrie zur simulationsbasierten Entwicklung im Einsatz (z. B. Toyota), und es stehen nur wenige dedizierte Forschungsgeräte dieser Immersionsstufe zur Verfügung (z. B. NHTSA). Auch hier liegt der Schwerpunkt der Forschung nach wie vor auf technischen Weiterentwicklungen statt auf medizinisch und verkehrsmedizinisch relevanten Forschungsprojekten, was nicht zuletzt damit zusammenhängen mag, dass der administrative und finanzielle Aufwand für klinische Studien oft in einem schlechten Verhältnis zu den resultierenden Publikationen (Zahl, Impact) steht.

Nahezu alle Fahrsimulatoren sind adaptierte Einzelanfertigungen. Größe und Immersion sind nicht notwendigerweise entscheidend für die Fähigkeit oder den Versuch, Fragestellungen adäquat beantworten zu können. Vielmehr sind für die Fragestellung ausgewählte digitale Inhalte in (validierten oder zu validierenden) Szenarien und ein adäquates Design einer klinischen Studie mit festgelegten primären und sekundären Messparametern („outcome“) vonnöten. Über die rein „technische“ Ebene hinaus sind im Studi-

endesign und in der Durchführung auch „weiche“ Faktoren, wie Umgebung, Stimmung, die Einstellung und die Erwartung der Probanden von nichtunerheblicher Bedeutung („setting, set“ [17; S. 155 ff.]).

Mit dieser Aussicht, über FS operationale, kognitive und taktische Fahrleistungsparameter in realitätsnaher, standardisierter, reproduzierbarer und v. a. sicherer Form im Rahmen von klinischen Studien zu erheben, sollten „moderne“ Studien dieser Art nach Möglichkeit zumindest folgende, stichpunktartig ausgeführte Kriterien erfüllen [18, 19]:

- Die verwendeten Kombinationen von (validierten) Szenarien und Outcome-Parametern sollten repräsentativ für den Verkehr und sensitiv für die jeweilige Fragestellung sein.
- Studienteilnehmer sollten an den Fahrsimulator „gewöhnt“ sein („familiarization“, vermeidet „simulation sickness“ und Verzerrung durch Lerneffekte).
- Das Studienpersonal sollte zudem erfahren in der Bewertung und Gewichtung der erhobenen Parameter sein („intra-rater“ und „inter-rater reliability“).
- Nicht zuletzt sollten idealerweise doppelblinde „Cross-over“-Studiendesigns mit Verum oder Placebo durchgeführt werden.

Mit der sprunghaften Weiterentwicklung von Rechnerkapazitäten und auf der Basis hervorragender Grundlagenarbeit stieg die grundsätzliche Verfügbarkeit von Fahrsimulatoren für die Forschung.

Diskussion der Wertigkeit von Ergebnissen aus Fahrsimulationsstudien für die Praxis

Vor dem oben geschilderten Hintergrund ist es nicht verwunderlich, dass die Verwendung von und die Zahl von Publikationen mit Fahrsimulatoren stark anstieg. Insbesondere in dem mit der Verkehrsmedizin eng verflochtenen Bereich der Pharmakologie wurde versucht, mithilfe der FS den Einfluss einer Vielzahl von Substanzen auf die Fahrfähigkeit zu ermitteln. Neben Medikamenten mit sedierender Wirkung stehen hierbei v. a.

Alkohol und Drogen im Vordergrund. Alkohol als im Verkehr sicher häufigste „Droge“ dient aufgrund seiner klar linearen Pharmakodynamik als gute Kalibrations- [19] und Vergleichssubstanz [20], u. a. um erweiterte Bewertungsschemata [19, 21] vorzustellen. Im Bereich der Drogen wurden Vorschläge für ein generalisiertes Protokoll zu FS-Studien erstellt [22]. Neben MDMA [23], GHB [24], Methamphetaminen, [25], psychotropen Substanzen [26] und Kava [27] wurde der Einfluss der Drogenersatzstoffe Methadon und Buprenorphin im Zusammenhang mit Alkohol [28] untersucht. Letztere unterliegen in der verkehrsmedizinischen Praxis in Hinsicht auf Dosis und Compliance einer regelmäßigen Kontrolle, sodass sich systematische (Längsschnitt-)Studien zu Fahrleistungen unter z. B. Methadonsubstitution anbieten. Auch wenn einer direkten (zeitlichen) Koppelung von VMU und Experiment durch Ethik, Daten- und Patientenschutz enge Grenzen gesetzt sind, böte eine enge räumliche Nähe von VMU und FS Vorteile für begleitende (Längsschnitt-)Studien.

Eng an die VMU angelehnte, FS-basierte Dosis-Wirkung-Studien zu anderen häufig bzw. regelmäßig kontrollierten Substanzen, wie Cannabinoiden [29–33], ADHS-Medikamenten [20, 34–42] oder auch Antidepressiva [43], bieten ebenfalls die Möglichkeit, einerseits klarer nachvollziehbare Angaben zur Fahrfähigkeit zu machen. Andererseits könnte aber auch das postulierte therapeutische Potenzial von z. B. Cannabinoiden (teils zugelassen wie Sativex, Dronabinol, Epidiolex, teils Tinkturen in Selbstmedikation) mit einer datenbasierten Risikoabschätzung aus FS-Versuchen hinterlegt werden, um bisher unklare Gesetzgebung zu verändern oder zu ergänzen. Darüber hinaus kann die Entwicklung oder Verfeinerung von nichtinvasiven Testverfahren für z. B. Cannabis – ähnlich dem SFST oder VERIFY (Verfahren zur Identifikation von Fahruntfähigkeit der Kantonspolizei Zürich, Schweiz; [44]) – an systematische Dosis-Wirkung-Studien von Cannabinoiden in FS angelehnt werden.

Auch Bereiche, in denen eine verkehrsmedizinische Beurteilung in der

gesamthaften Einordnung der Fahrfähigkeit und -eignung erhebliche Erfahrung und bisher fachübergreifende Konsensrichtlinien benötigt, wurden teilweise mithilfe der FS untersucht. Hier sind beispielhaft Studien aus den Bereichen Ophthalmologie [45–48], Neurologie (multiple Sklerose [49, 50], M. Parkinson [51], Huntington-Chorea [52, 53], „mild cognitive impairment“ und M. Alzheimer [54–56]) sowie der Psychiatrie (Depression [57, 58] und Demenz [56]) zu nennen. Bei vielen dieser Themen ist die Altersproblematik hinterlegt. Bisher besteht aufgrund der Komplexität und Heterogenität dieser Erkrankungen, aber auch sicher aufgrund der geringen Zahl von vergleichenden Studien noch kein Konsens über die Wertigkeit von FS-Studien für die Praxis.

Selbst in Bereichen mit scheinbar vielen FS-Studien herrscht nicht notwendig Einigkeit oder Klarheit über deren schlussendliche Verwertbarkeit für die Praxis. Dies lässt sich in seiner Komplexität anschaulich mit einer Auswahl von Studien zum Themenbereich „Schlaf“ darstellen: Trotz deutlich unterschiedlicher FS und unterschiedlicher Studienansätze ergibt sich zunächst ein konsistenter Eindruck: Eine induzierte [59], allerdings auch berufs- oder OSAS-bedingte [60, 61] exzessive (Tages-)Schläfrigkeit wirkt sich nachweislich auf die Fahrleistung in FS aus. Beeinträchtigungen im EEG von OSAS-Patienten sind ein Prädiktor für die Fahrleistung in FS [62, 63]. Der positive Einfluss von z. B. Armodafinil auf die FS-Fahrleistung von Schichtarbeitern mit durch „shift workers disease“ (SWD) bedingter Schläfrigkeit konnte nachgewiesen werden, während die (z. T. lang anhaltenden [64]) negativen Auswirkungen von Zopiclon mehrfach als Positivkontrolle in Studien mit FS [65] und Kombination FS/„on road testing“ (ORT; [66]) eingesetzt wurden. Die Fahrleistung in einer FS kann nach Schreier et al. [67] allerdings nicht als Vorhersageparameter für reale Unfälle im Generellen oder im Individuellen dienen, obwohl in den betrachteten Studien eine moderate Korrelation zwischen Leistungen in FS und realen Testfahrten (ORT) besteht. Hier sei sehr wahrscheinlich nicht die

Schwere der Schläfrigkeit, sondern die gefühlte Schläfrigkeit entscheidender. Der letztgenannte, hervorragende Review subsumiert beispielhaft die Problematik, einen allumfassenden Anspruch an FS-Studien und ihre Wertigkeit in der Praxis zu erfüllen, nämlich die eigentlichen Studienergebnisse mit epidemiologischen Daten zu realen Unfällen zu plausibilisieren, also mit Unfallwahrscheinlichkeiten der Kohorte oder des Individuums, wie von Madea gefordert [17]. Diese Problematik verschärft sich noch dadurch, dass bei stark gesunkenen Unfall-/Todesfallzahlen und nahezu vollständig veränderter Sicherheitstechnik der Fahrzeuge im Vergleich zum Anfang der 1980er-Jahre epidemiologische Effekte nur schwer nachzuweisen sind. Hier mag der naive Ansatz, in FS unendliche viele „Unfälle“ ohne Gefahr oder Schaden einzugehen, vorteilhaft sein.

Resümee und offene Fragen

Fahrsimulation ist grundsätzlich ein Tool, das für systematische und dezidiert verkehrsmedizinische Studien zugänglich ist. Fahrsimulation kann so dem Ziel dienen, die Entscheidungen in der verkehrsmedizinischen Begutachtungspraxis zu plausibilisieren sowie transparent und evidenzbasiert zu vermitteln.

Allerspätestens mit dem Tod von Elaine Herzberg, die 2018 von einem vollautomatisierten Fahrzeug erfasst worden war [68], stellt sich die Frage, inwieweit

sich der Auftrag – und damit die zukünftige Forschung – der VM in dieser Hinsicht weiter verändert: Muss alles im „neu justierten“ System von Mensch und Maschine erneut getestet werden [69]? Ist der Fahrer eines modernen, mit vielen Assistenzsystemen ausgestatteten Fahrzeugs nicht heute schon oftmals kognitiv überlastet? „Verlernt“ die Gesellschaft das Fahren mit zunehmender Automatisierung? Wie viele Anforderungen stellt man an den „klassischen“ Fahrer im mit „automatisierten“ Fahrern (?) gemischten Verkehr? Ist das „Privileg des gesunden Fahrers“, wie von Hartmann postuliert [1], nicht ohnehin inzwischen einem „Privileg des kompetenten Fahrers“ gewichen, oder – wenn noch nicht – wird sich diese Tendenz verstärken? Und wie wird die VM sich dieser Aufgabe stellen?

Fazit für die Praxis

- Zum jetzigen Zeitpunkt lässt sich sagen: Die Verkehrsmedizin kann in einer Vielzahl von Aspekten vom Potenzial der fahrsimulationsbasierten Forschung profitieren. Sie sollte hierbei den Menschen und seine medizinisch definierte Leistungsfähigkeit im Zentrum des Blickes und ihrer Forschung halten.
- Vor dem übernächsten Schritt sollte die Verkehrsmedizin ihre gewachsenen Erkenntnisse auf eine vermehrt evidenzbasierte Grundlage stellen und auf dieser Basis einen Beitrag zur gesteigerten Akzeptanz ihrer Arbeit leisten.

Hier steht eine Anzeige.

- **Fahrsimulationsbasierte verkehrsmmedizinische Forschung mit klinischen Studien hat das Potenzial, ein zunehmend integratives Teilgebiet der Rechtsmedizin zu werden.**

Korrespondenzadresse

Dr. rer. nat. S. Lakämper
Abteilung Verkehrsmedizin,
Institut für Rechtsmedizin,
Universität Zürich
Andreasstr. 15, 8050 Zürich,
Schweiz
stefan.lakaemper@irm.uzh.ch

Funding. Open access funding provided by University of Zurich

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. A. Lange, K. Keller und S. Lakämper geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Hartmann HP, Wagner HJ, Patscheider H (2013) Der Kranke als Fahrzeuglenker: Mit jeweils einem Beitrag über die rechtlichen Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland von H.J. Wagner und in Österreich von H. Patscheider. Springer, Berlin Heidelberg
- Maslow AH (1943) A theory of human motivation. *Psychol Rev* 50(4):370–396
- ARD (2020) Scheuer will Strafen wieder entschärfen, Tagesschau vom 14.05.2020. <https://www.tagesschau.de/inland/bussgeldstrassenverkehrsordnung-scheuer-101.html>. Zugriffen: 9. Juli 2020
- Wikipedia Mary Ward. [https://en.wikipedia.org/wiki/Mary_Ward_\(scientist\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mary_Ward_(scientist)). Zugriffen: 6. Aug. 2020
- Wikipedia Bridget Driscoll. https://en.wikipedia.org/wiki/Death_of_Bridget_Driscoll. Zugriffen: 6. Aug. 2020
- Wikipedia Geschichte des Führerscheins. https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_des_F%C3%BChrerscheins. Zugriffen: 6. Aug. 2020
- Kohlenberg, R. Heute Unvorstellbar Autofahren Früher - beschwipst du ohne Gurt. Kölner Stadtanzeiger 2016. <https://www.ksta.de/ratgeber/auto/autofahren-frueher---beschwipst-und-ohne-gurt-sote-23446816#:~:text=Bestraft%20wurde%20nur%2C%20wer%20einen,Grenze%20liegt%2C%20begeht%20eine%20Ordnungswidrigkeit>. Zugriffen: 07. Jan. 2016
- HLS Automobil 2015. <https://hls-dhs-dss.ch/de/articles/013901/2015-01-21/>. Zugriffen: 6. Aug. 2020
- HLS (2011) Motorisierung. <https://hls-dhs-dss.ch/de/articles/013846/2011-05-10/>. Zugriffen: 6. Aug. 2020
- Wikipedia Sicherheitsgurt. https://de.wikipedia.org/wiki/Sicherheitsgurt#Einf%C3%BChrung_der_Gurtpflicht. Zugriffen: 6. Aug. 2020
- Borkenstein R et al (1964) The role of the drinking driver in traffic crashes. Department of Police Administration, Indiana University, Bloomington
- Borkenstein RF, Crowther RF, Shumate RP (1974) The role of the drinking driver in traffic accidents (The Grand Rapids Study). *Blutalkohol* 11(Suppl):1–131
- Allsop R (1966) Alcohol and road accidents: a discussion of the Grand Rapids study. <https://trf.co.uk/sites/default/files/LR006.pdf>. Zugriffen 31.08.2020
- Compton R et al (2002) Crash rate of alcohol impaired driving. In: Proceedings of the sixteenth International Conference on Alcohol, Drugs and Traffic Safety ICADTS Montreal
- Wikipedia Driving under the influence. https://en.wikipedia.org/wiki/Driving_under_the_influence#cite_note-inflation-UK-22. Zugriffen: 6. Aug. 2020
- Mosimann U et al (2012) Konsensusempfehlungen zur Beurteilung der medizinischen Mindestanforderungen für Fahreignung bei kognitiver Beeinträchtigung. *Praxis* 101(7):16618157
- Madea B (2012) Verkehrsmedizin: Fahreignung, Fahrsicherheit, Unfallrekonstruktion. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln
- Fisher DL, Lee JD, Caird J (2017) Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology. Taylor & Francis, Boca Raton
- Kenntner-Mabiala R et al (2015) Driving performance under alcohol in simulated representative driving tasks: an alcohol calibration study for impairments related to medicinal drugs. *J Clin Psychopharmacol* 35(2):134–142
- Kaassner Y et al (2010) Effects of oxcarbazepine and carbamazepine on driving ability: a double-blind, randomized crossover trial with healthy volunteers. *Psychopharmacology* 210(1):53–63
- Rezaee-Zavareh MS et al (2017) Alcohol consumption for simulated driving performance: a systematic review. *Chin J Traumatol* 20(3):166–172
- Iwata M et al (2019) Protocol for the development and validation of a driving simulator for evaluating

- the influence of drugs on driving performance. *Medicine* 98(8):e14613
- Brookhuis KA, de Waard D, Samyn N (2004) Effects of MDMA (ecstasy), and multiple drugs use on (simulated) driving performance and traffic safety. *Psychopharmacology* 173(3/4):440–445
 - Liakoni E et al (2018) Effect of γ -hydroxybutyrate (GHB) on driving as measured by a driving simulator. *Psychopharmacology* 235(11):3223–3232
 - Silber BY et al (2012) The effect of d-methamphetamine on simulated driving performance. *Hum Psychopharmacol* 27(2):139–144
 - Rapoport MJ, Baniña MC (2007) Impact of psychotropic medications on simulated driving: a critical review. *CNS Drugs* 21(6):503–519
 - Sarris J et al (2013) Does a medicinal dose of kava impair driving? A randomized, placebo-controlled, double-blind study. *Traffic Inj Prev* 14(1):13–17
 - Lenné MG et al (2003) The effects of the opioid pharmacotherapies methadone, LAAM and buprenorphine, alone and in combination with alcohol, on simulated driving. *Drug Alcohol Depend* 72(3):271–278
 - Arkell TR et al (2019) Cannabidiol (CBD) content in vaporized cannabis does not prevent tetrahydrocannabinol (THC)-induced impairment of driving and cognition. *Psychopharmacology* 236(9):2713–2724
 - Tank A et al (2019) On the impact of cannabis consumption on traffic safety: a driving simulator study with habitual cannabis consumers. *Int J Legal Med* 133(5):1411–1420
 - Suraev A et al (2020) Cannabidiol (CBD) and Δ (9)-tetrahydrocannabinol (THC) for chronic insomnia disorder ('CANSLEEP' trial): protocol for a randomised, placebo-controlled, double-blinded, proof-of-concept trial. *BMJ Open* 10(5):e34421
 - Downey LA et al (2013) The effects of cannabis and alcohol on simulated driving: influences of dose and experience. *Accid Anal Prev* 50:879–886
 - Brands B et al (2019) Acute and residual effects of smoked cannabis: Impact on driving speed and lateral control, heart rate, and self-reported drug effects. *Drug Alcohol Depend* 205:107641
 - Barkley RA et al (2006) Effects of two doses of alcohol on simulator driving performance in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Neuropsychology* 20(1):77–87
 - Barkley RA et al (2005) Effects of two doses of methylphenidate on simulator driving performance in adults with attention deficit hyperactivity disorder. *J Safety Res* 36(2):121–131
 - Cox DJ et al (2004) Controlled-release methylphenidate improves attention during on-road driving by adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Am Board Fam Pract* 17(4):235–239
 - Cox DJ et al (2000) Effect of stimulant medication on driving performance of young adults with attention-deficit hyperactivity disorder: a preliminary double-blind placebo controlled trial. *J Nerv Ment Dis* 188(4):230–234
 - Cox DJ et al (2008) Rebound effects with long-acting amphetamine or methylphenidate stimulant medication preparations among adolescent male drivers with attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Child Adolesc Psychopharmacol* 18(1):1–10
 - Groom MJ et al (2015) Driving behaviour in adults with attention deficit/hyperactivity disorder. *BMC Psychiatry* 15:175
 - Barkley RA, Anderson DL, Kruesi M (2007) A pilot study of the effects of atomoxetine on driving performance in adults with ADHD. *J Atten Disord* 10(3):306–316

41. Biederman J et al (2012) The effects of lisdexamfetamine dimesylate on driving behaviors in young adults with ADHD assessed with the Manchester driving behavior questionnaire. *J Adolesc Health* 51(6):601–607
42. Biederman J et al (2012) The effects of lisdexamfetamine dimesylate on the driving performance of young adults with ADHD: a randomized, double-blind, placebo-controlled study using a validated driving simulator paradigm. *J Psychiatr Res* 46(4):484–491
43. Verster JC, van de Loo AJ, Roth T (2015) Mirtazapine as positive control drug in studies examining the effects of antidepressants on driving ability. *Eur J Pharmacol* 753:252–256
44. Landolt H, Dähler M (Hrsg) (2019) *Jahrbuch zum Strassenverkehrsrecht* 2019. Dike, Zürich
45. Bowers AR (2016) Driving with homonymous visual field loss: a review of the literature. *Clin Exp Optom* 99(5):402–418
46. Bowers AR et al (2010) Driving with hemianopia, II: lane position and steering in a driving simulator. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 51(12):6605–6613
47. Udagawa S et al (2018) The effect of concentric constriction of the visual field to 10 and 15 degrees on simulated motor vehicle accidents. *PLoS ONE* 13(3):e193767
48. Devos H et al (2018) Performance-based visual field testing for drivers with glaucoma: a pilot study. *Traffic Inj Prev* 19(7):715–721
49. Devos H et al (2017) Determinants of on-road driving in multiple sclerosis. *Arch Phys Med Rehabil* 98(7):1332–1338.e2
50. Krasniuk S et al (2019) Clinical determinants of fitness to drive in persons with multiple sclerosis: systematic review. *Arch Phys Med Rehabil* 100(8):1534–1555
51. Devos H et al (2016) Use of a driving simulator to improve on-road driving performance and cognition in persons with Parkinson's disease: a pilot study. *Aust Occup Ther J* 63(6):408–414
52. Jacobs M et al (2019) Predictors of simulated driving performance in Huntington's disease. *Parkinsonism Relat Disord* 60:64–69
53. Jacobs M et al (2018) Altered driving performance of symptomatic Huntington's disease gene carriers in simulated road conditions. *Traffic Inj Prev* 19(7):708–714
54. Hird MA et al (2016) A systematic review and meta-analysis of on-road simulator and cognitive driving assessment in Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *J Alzheimers Dis* 53(2):713–729
55. Hird MA et al (2017) Investigating simulated driving errors in amnesic single- and multiple-domain mild cognitive impairment. *J Alzheimers Dis* 56(2):447–452
56. Piersma D et al (2018) Assessing fitness to drive in patients with different types of dementia. *Alzheimer Dis Assoc Disord* 32(1):70–75
57. Bulmash EL et al (2006) Psychomotor disturbance in depression: assessment using a driving simulator paradigm. *J Affect Disord* 93(1–3):213–218
58. Miyata A et al (2018) Driving performance of stable outpatients with depression undergoing real-world treatment. *Psychiatry Clin Neurosci* 72(6):399–408
59. McManus B et al (2018) The effect of poor sleep and occupational demands on driving safety in medical residents. *Traffic Inj Prev* 19(sup2):S137–S140
60. May JF, Porter BE, Ware JC (2016) The deterioration of driving performance over time in drivers with untreated sleep apnea. *Accid Anal Prev* 89:95–102
61. Ware JC et al (2006) Medical resident driving simulator performance following a night on call. *Behav Sleep Med* 4(1):1–12
62. Vakulin A et al (2014) Individual variability and predictors of driving simulator impairment in patients with obstructive sleep apnea. *J Clin Sleep Med* 10(6):647–655
63. Vakulin A et al (2016) Quantitative sleep EEG and polysomnographic predictors of driving simulator performance in obstructive sleep apnea. *Clin Neurophysiol* 127(2):1428–1435
64. Verster JC, Veldhuijzen DS, Volkerts ER (2004) Residual effects of sleep medication on driving ability. *Sleep Med Rev* 8(4):309–325
65. Iwata M et al (2020) Development and validation of a driving simulator for evaluating the residual effects of drugs on driving performance—sensitivity analysis using zopiclone as a positive control: Study Protocol Clinical Trial (SPIRIT Compliant). *Medicine* 99(12):e19395
66. Verster JC et al (2011) Zopiclone as positive control in studies examining the residual effects of hypnotic drugs on driving ability. *Curr Drug Saf* 6(4):209–218
67. Schreier DR, Banks C, Mathis J (2018) Driving simulators in the clinical assessment of fitness to drive in sleepy individuals: a systematic review. *Sleep Med Rev* 38:86–100
68. Wikipedia (2018) Elaine Herzberg. https://en.wikipedia.org/wiki/Death_of_Elaine_Herzberg. Zugriffen: 6. Aug. 2020
69. Wiedemann K et al (2018) Effect of different alcohol levels on take-over performance in conditionally automated driving. *Accid Anal Prev* 115:89–97

Aktuelle Informationen

Aktuelle Entwicklung zu COVID-19 bei Springer Nature und Springer Medizin

Springer Nature und Springer Medizin unterstützen die globale Reaktion auf die COVID-19-Pandemie, indem ein schneller und direkter Zugang zu den neuesten verfügbaren Forschungsergebnissen und Daten ermöglicht wird.

Auf der Homepage **SpringerMedizin.de** finden Sie ein immer aktuelles Dossier mit Beiträgen, Forschungsarbeiten und Ergebnissen zu SARS-CoV-2 sowie relevanten Links.

Darin z.B. auch die kürzlich publizierte **Empfehlung von DIVI, DGIIN, DGAJ und DGP zur Intensivtherapie von Patienten mit COVID-19.**

Springer Nature arbeitet mit globalen Organisationen zusammen, und verlinkt über **SpringerNature.com/de** auf eine eigene Landingpage mit einer Vielzahl an Information sowie freiem Zugriff auf die COVID-19-Contentplattformen von Nature Research, BioMed Central (BMC) und Springer.

Das Dossier zu Coronavirus / Covid-19 von Springer Medizin finden Sie hier:
www.springermedizin.de/covid-19

SCAN ME