

Aus dem Institut für Rechtsmedizin
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktorin: Univ.-Prof. Dr. med. Stefanie Ritz

**Auswirkung von Alkoholeinfluss
auf die Fahrsicherheit von
E-Scooter-Fahrenden**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Katharina Zube

2024

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Benno Hartung

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Simon Thelen

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Zube K, Daldrup T, Lau M, Maatz R, Tank A, Steiner I, Schwender H, Hartung B (2022). E-Scooter driving under the acute influence of alcohol - a real-driving fitness study. Int J Legal Med; 136(5):1281-1290

Zube K, Daldrup T, Maatz R, Lau M, Hartung B (2022). Wie wirkt sich Alkoholeinfluss auf die Fahrsicherheit beim Führen eines E-Scooters aus? - Wesentliche Ergebnisse eines Real-Fahrversuchs. Blutalkohol; 59:175-181

Zube K, Lau M, Daldrup T, Bruch GM, Tank A, Hartung B (2023). The „Mellanby effect“ in alcoholised e-scooter drivers. Int J Legal Med; 137(2):537-543.

Im Weiteren wurde veröffentlicht:

Zube K, Daldrup T, Lau M, Maatz R, Tank A, Steiner I, Schwender H, Hartung B. (2022). Zur Fahrsicherheit von Alkoholbeeinflussten E-Scooter-Fahrenden. ZVS - Zeitschrift für Verkehrssicherheit 68:195-197

Zusammenfassung

Bereits Anfang bis Mitte des 19. Jahrhunderts entstanden erste rechtliche Regelungen bezüglich einer Teilnahme im Straßenverkehr unter Alkoholeinfluss. Aufgrund der zunehmenden Verkehrsmobilität und Entwicklung neuer Fahrzeugkategorien ist die Festlegung einer Promillegrenze im Straßenverkehr stets ein diskussionsbehaftetes Thema.

Mit der Einführung von E-Scootern im Juni 2019 in Deutschland stellte sich die Frage, ob diese Fortbewegungsmittel zu den Kraftfahrzeugen gezählt werden müssen und ob der hierfür einschlägige Grenzwert zur sogenannten absoluten Fahrunsicherheit ab 1,10 ‰ auch für E-Scooter-Fahrende angemessen ist.

Ziel der hier vorliegenden Arbeit war es herauszuarbeiten, welche Ausfallerscheinungen beim Führen eines E-Scooters unter verschiedenen Alkoholkonzentrationen vorliegen und wie dies auf die Frage nach der absoluten Fahrunsicherheit bei E-Scooter-Fahrenden anzuwenden ist.

Es erfolgte die Durchführung eines realen Fahrversuchs unter Alkoholeinfluss. 57 alkoholkonsumierende Probanden und Probandinnen, sowie 6 konstant nüchterne Personen (Kontrollgruppe) nahmen an der Studie teil. Der Alkoholkonsum erfolgte nach einem festgelegten Trinkschema ebenso wie das anschließende Durchfahren eines festgelegten Parcours.

Nach jeder Fahrt erfolgten eine Blutentnahme zur Blutalkoholkonzentration (BAK)-Bestimmung und neurologisch orientierende Untersuchungen mittels des Romberg-Tests und des Unterberger-Tretversuchs.

In niedrigen BAK-Bereichen konnte bereits eine deutliche Verschlechterung der Fahrleistung festgestellt werden. Die neurologischen Untersuchungen zeigten eine Korrelation mit sich verschlechternden Untersuchungsergebnissen und einer steigenden BAK.

In einer Subanalyse wurde hinterfragt, ob ein Unterschied der Fahrleistung im Rahmen der Resorptions- und Eliminationsphase bei ähnlichen Blutalkoholkonzentrationen im Rahmen dieser Versuche zu erkennen war. Hierbei zeigten sich Belege dafür, dass eine schlechtere Fahrleistung in der Resorptionsphase als in der Eliminationsphase vorliegt.

Zusammenschauend lässt sich festhalten, dass eine Senkung und somit Verschärfung der Grenze zur absoluten Fahrunsicherheit der E-Scooter-Fahrenden aus rechtsmedizinischer Sicht zu erwägen ist. Die Festlegung solcher Grenzwerte ist jedoch keine rechtsmedizinische, sondern eine juristische Aufgabe – sei es durch den Gesetzgeber oder durch die Rechtsprechung.

Summary

The first legal regulations regarding participation in road traffic under the influence of alcohol emerged as early as the beginning to middle of the 19th century. With increasing traffic mobility and the development of new vehicle categories, setting a drink-drive-limit in road traffic has always been a subject of debate.

With the introduction of e-scooters in Germany in June 2019, the question arose whether these means of transportation must legally be classified as motor vehicles and whether the resulting limit of a so-called absolute inability to drive from 1.10 ‰ is applicable.

The aim of the present study was to work out which signs of impairment occur when driving an e-scooter under different blood alcohol concentrations and how these results can contribute to the debate regarding absolute driving impairment for e-scooter drivers.

A real driving test was carried out under the influence of alcohol. 57 alcohol-consuming test subjects and 6 sobriety checks took part in the study. The alcohol consumption was carried out according to a fixed drinking scheme as well as driving through a course.

A blood sample was taken after each journey to detect the blood alcohol concentration (BAC) and neurological examinations were carried out using Romberg test and Unterberger pedaling test.

In low BAC ranges a significant deterioration in driving performance was observed. The neurological examinations showed a correlation respective worse test results and an increasing BAC.

In an additional analysis it was asked whether a difference in driving performance could be recognized between the resorption phase and the elimination phase with similar blood alcohol concentrations in these tests. There were statistical hints that driving performance is generally worse in the resorption phase than in the elimination phase.

Concludingly, it can be stated that a reduction and insofar tightening of the threshold value of absolute driving impairment of e-scooter drivers should be considered. However, the determination of such threshold values is not a medicolegal but a legal task, be it by the legislator or the jurisdiction.

Abkürzungsverzeichnis

BAK	Blutalkoholkonzentration
BAC	Blood alcohol concentration
KG	Körpergewicht
r	Widmark-Faktor
P	Reduziertes Körpergewicht (zur Berechnung der Widmark-Formel)
E^G	Ethanolmenge in Gramm (zur Berechnung der Widmark-Formel)
P	Reduziertes Körpergewicht (zur Berechnung der Widmark-Formel)
c₀^{Max}	Maximale Blutethanolkonzentration in g/kg bzw. Promille (Widmark-Formel)
ADH	Alkoholdehydrogenase
ALDH	Aldehyddehydrogenase
NADH	Nicotinamidadenindinukleotid (reduzierte Form)
NAD⁺	Nicotinamidadenindinukleotid (oxidierte Form)
GC	Gaschromathographie
StGB	Strafgesetzbuch
eKFV	Elektrokleinstfahrzeugverordnung

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1. Grundlagen der Pharmakokinetik von Alkohol	1
1.2. Alkoholkonsum und Wirkung.....	4
1.3. Nachweis von Alkohol und rechtliche Grundlagen.....	6
1.4. Die alkoholbedingte Fahrunsicherheit	7
1.5. Durchführung einer Verkehrskontrolle und ärztliche Untersuchung.....	8
1.6. Bisherige praktische Fahrversuche zur Fahrleistung unter Alkoholeinfluss	9
1.7. Rechtsgrundlage E-Scooter	10
1.8. Alkoholproblematik bei der Nutzung von E-Scootern	12
1.9. Ziele der Arbeit	16
1.10. Ethikvotum	16
2. Publierte Originalarbeiten	17
3. Zusätzliche Ergebnisse	42
4. Diskussion	43
5. Fazit.....	51
6. Literaturverzeichnis	53
7. Anhang	59

1. Einleitung

1.1. Grundlagen der Pharmakokinetik von Alkohol

Der Begriff „Alkohol“ wird umgangssprachlich als Synonym für „Ethanol“ verwendet, das eine Unterkategorie der chemischen Stoffklasse der „Alkohole“ bildet. [1, 2]

Ethanol besitzt die Halbstrukturformel **C₂H₅OH**. Alkohole besitzen als entscheidende funktionelle Gruppe eine Hydroxylgruppe (- OH).

Die Anzahl der Hydroxylgruppen ist entscheidend für die Wasserlöslichkeit (Hydrophilie). Mit zunehmender Anzahl an Hydroxylgruppen nimmt die Hydrophilie zu, jedoch mit zunehmender Länge von Alkylresten (-CH₃) ab.

Ethanol ist daher hydrophil, was essenziell für die Berechnung der Blutalkoholkonzentration ist.

Der Alkoholstoffwechsel im Körper unterliegt drei Phasen des Auf- und Abbaus, die fließend ineinander übergehen: **Resorption** bzw. auch als Absorption bezeichnet, **Distribution** und **Elimination**.

Resorption

Bereits im oropharyngealen Bereich beginnt die Aufnahme von Ethanol. Über die dortigen Schleimhäute ist die Aufnahme von bis zu 2% der konsumierten Menge möglich. [3] Dementsprechend können diese bezüglich der geringen Resorptionsmenge vernachlässigt werden. [4] Es folgt die Passage und die weitere Resorption im Magen. Maximale Mengen von 10-20% der konsumierten Menge sind beschrieben. [3, 4]

Ein geringer Anteil wird hier zudem bereits abgebaut, über den so genannten „gastrischen First-Pass-Effekt“. [3, 4] Übersteigt die vorhandene Ethanolmenge im Magen >0,5g/kg KG ist dieser Effekt jedoch vernachlässigbar aufgrund der geringen Effektivität des dort dafür zuständigen ADH-Isoenzyms in der Magenschleimhaut. [3]

Im Duodenum und Jejunum erfolgt der Großteil der Resorption. [3, 4]

Das Ethanol folgt einem Konzentrationsgradienten, sodass hochprozentiger Alkohol schneller resorbiert wird als niedrigprozentiger Alkohol. [3, 4, 5]

Der Füllungszustand des Magen-Darm-Traktes und die Durchblutung der Schleimhäute beeinflussen die Resorption des Alkohols möglicherweise erheblich. [3, 4] Fetthaltige Nahrung verlangsamt die Resorption insbesondere durch die erhöhte Magenpassagezeit. [4]

Die Resorptionszeit bezeichnet die Zeitspanne von Aufnahme des Ethanols bis zum Übergang in den Blutkreislauf. Diese variiert, aus genannten Gründen, zwischen wenigen Minuten bis zu max. zwei Stunden. [3, 5]

Wird in kurzem Zeitraum eine größere Menge Alkohol zugeführt, wird von einem sogenannten „Sturztrunk“ gesprochen. [3] Aufgrund des ausgelasteten First-Pass-Effektes gelangt der restliche, nicht abgebaute Alkohol in den Blutkreislauf. Die zur ausreichenden Nährstoffversorgung notwendig hohe Perfusion des Schädels führt dazu, dass bis zu einem Viertel des aufgenommenen Alkohols bei diesem Prozess in das Gehirn gelangt. Dies spiegelt sich in verstärkten neurozentralen Effekten wider, sodass die Alkoholwirkung bei vergleichbaren BAK während der Anflutung stärker ausgeprägt ist als in späteren Phasen. [3]

Distribution

Infolge der geschlechterspezifischen und individuellen Körperfettverteilung wird bei einem normalgewichtigen, erwachsenen Mann eine Verteilung des Ethanols in 70% und bei einer normalgewichtigen, erwachsenen Frau in 60% der Gesamtkörpermasse geschätzt. [3, 4, 5]

Das Gehirn wird mit ca. 25% des Herzzeitvolumens versorgt und besitzt einen hohen Wasseranteil, sodass sich dort die Ethanolwirkung primär bemerkbar macht. [3, 6]

Elimination

Eine geringe Elimination findet bereits im Magen über den „gastrischen First-Pass-Effekt“ statt. [3] Sobald das Ethanol in den Blutkreislauf gelangt, erfolgt die

Elimination zu etwa 95% durch biochemische Prozesse, mit Fokus in der Leber („hepatischer First-Pass-Effekt“). [4, 5] Ethanol wird mittels der Alkoholdehydrogenase (ADH) zu Acetaldehyd metabolisiert. Es folgt der weitere Abbau zu Acetat über die Aldehyddehydrogenase (ALDH). Dieses wird wiederum in den Citrat- und Fettsäurezyklus eingeschleust. [3, 5]

Als geschwindigkeitsbestimmenden Schritt funktioniert für die ALDH das notwendige Co-Enzym NADH. NAD⁺ wird zu NADH reduziert. Die Reoxidation erfolgt gleichmäßig und konzentrationsunabhängig, sodass man von einer Kinetik 1. Ordnung spricht. [3] Durchschnittlich erfolgt ein Abbau von 0,15‰ – 0,17‰ pro Stunde. [3] Unterhalb einer Blutalkoholkonzentration von 0,15‰ ist die Reoxidation von NADH nicht mehr ausgelastet, sodass die Kinetik exponentiell verläuft. [3, 6, 7]

Neben der enzymatischen Elimination in der Leber erfolgt eine vernachlässigbare physikalische Elimination über Atemluft, Schweiß und Urin. [4] Das Ethanol wird hierbei unverändert ausgeschieden. [6]

Die Diffusion zwischen Kapillaren und Alveolarraum ermöglicht die Abatmung und die Atemalkoholkonzentration kann mittels spezieller Alco-Test-Geräte bestimmt werden. [5]

Wird in einem kurzen Zeitraum hochprozentiger Alkohol konsumiert, sodass mehr ins Blut resorbiert wird als sich gleichmäßig verteilen kann (Distribution), kommt es zu einem intravasalen „Ethanolstau“. [5] Dieser führt dazu, dass ein kurzer und schneller Konzentrationsabfall von max. 0,2‰ vorliegen kann, wenn Resorption und Distribution wieder ausgeglichen werden. [5]

Der Wasseranteil im Körper stellt in der Berechnung einer Blutalkoholkonzentration den sogenannten Widmark-Faktor dar. [3, 4]

Je nach Geschlecht und Körperkonstitution variiert dieser. Variationen bei fettleibigen und athletischen Körpern zwischen 50 und 95% sind möglich. [5] Aufgrund der physiologischen Fettverteilung besitzen Frauen einen höheren Fettanteil und bei einer normalgewichtigen Körperkonstitution wird ein Widmark-

Faktor von durchschnittlich $r=60\%$, bei Männern hingegen $r=70\%$, angenommen. [3, 4, 5] Mithilfe dieser Annahme erfolgt mit der Multiplikation des gemessenen Körpergewichts die Berechnung des reduzierten Körpergewichts (P).

Für eine Berechnung der maximalen BAK ist zusätzlich die getrunkene Menge des konsumierten alkoholischen Getränkes in Millilitern notwendig sowie die Volumenprozentangabe des alkoholischen Getränks. Ethanol besitzt ein spezifisches Gewicht von ca. $0,8\text{g/ml}$. Durch Multiplikation von der Volumenprozentangabe mit dem spezifischen Gewicht von Ethanol wird die Menge (Gramm) an Ethanol pro Milliliter berechnet, sodass eine weitere Multiplikation der Milliliter-Menge des Getränkes die Gramm Ethanol wiedergibt (E^G).

Es ergibt sich die Formel

$$c_0^{\text{Max}} = (E^G/P) = (\text{g/kg})$$

E^G = Ethanolmenge in Gramm

P = Reduziertes Körpergewicht

c_0^{Max} = Maximale BAK in g/kg bzw. Promille

wobei Resorptionsdefizit und Alkoholabbau noch unberücksichtigt sind. [3, 5]

1.2. Alkoholkonsum und Wirkung

Der Konsum von Alkohol hat verschiedene verkehrsrelevante Wirkungen.

Die neurotoxikologische Wirkung beruht auf Membranfunktionsstörungen, die in Abhängigkeit von der Dosis im Ausmaß und Schnelligkeit der Verteilung zunimmt. [1, 8]

Es erfolgte eine Unterteilung in psychische und physische Wirkungen auf die Fahrsicherheit:

Verkehrsrelevante psychische Wirkungen betreffen die Konzentrationsfähigkeit, die Meinungsbildung und die Vigilanz. Alkoholkonsum führt häufig zu einer erhöhten Reizbarkeit und eingeschränktem Kritikvermögen. [8] Alkohol-Beeinflusste neigen zu einem erhöhten Risikoverhalten und erhöhter Ablenkbarkeit. [8, 9] Komplexe Aufgaben werden mit zunehmendem

Alkoholisierungsgrad erschwert bewältigt. Schlussfolgernd ist die Einschätzung von Verkehrssituationen von Fahrenden deutlich eingeschränkt und neigen zu Gefahrensituationen (Überfahren roter Ampeln, verminderte Rücksicht auf andere Verkehrsteilnehmer). [8, 9]

Verkehrsrelevante physische Wirkungen betreffen das Sehvermögen, den Gleichgewichtssinn und die Motorik. [8, 9] Das Gehör und der Riechsinn erfahren in diesem Kontext eine vernachlässigbare Beeinträchtigung. [8]

In Bezug auf das Sehvermögen ist eine gestörte Koordination der Augenmuskulatur zu verzeichnen. Insbesondere die seitliche Wahrnehmung ist eingeschränkt und ein sogenannter „Tunnelblick“ tritt ein; Doppelbilder sind möglich. [3, 8] Aufgrund einer gestörten Anpassung auf veränderte Lichtverhältnisse liegen eine erhöhte Blendeempfindlichkeit und eine gestörte Hell-Dunkel-Adaption vor. [3, 8]

In Bezug auf die Motorik und den Gleichgewichtssinn liegt insbesondere eine Beeinflussung der Kleinhirnfunktion vor. [3, 8] Die qualitative Umsetzung von gezielten Bewegungen nimmt mit zunehmender Alkoholisierung ab. [8, 9]

Auch wenn im Vergleich zu anderen Drogen eine relativ belastbare Dosis-Wirkungs-Beziehung besteht, sind die individuellen Auswirkungen stark von Alkoholgewöhnung und Alkoholtoleranz des ZNS abhängig [3, 8]. Weitere Faktoren, wie die psychische Gesamtverfassung und Gesamtbefindlichkeit, haben Einfluss auf die Stärke dieser Effekte [3, 8, 10].

Eine genaue Abgrenzung von Ausfallerscheinungen zu einer bestimmten BAK ist schwer festzulegen und diskussionsbehaftet. [11] Grobe Annäherungen sind jedoch möglich:

Bereits in Bereichen von 0,20 – 0,30 ‰ können verkehrsrelevante Ausfallerscheinungen vorhanden sein. [3, 12] Zwischen 0,50 – 0,80 ‰ sind diese regelmäßig zu verzeichnen, jedoch intra- und interindividuell unterschiedlich ausgeprägt. [3] Ab ≥1,10‰ sind verkehrsmedizinisch relevante, psychische und physische Ausfallerscheinungen signifikant auffällig. [3] Da bei verschiedenen

Fortbewegungsmitteln unterschiedliche Anforderungen an den Fahrer oder die Fahrerin vorhanden sind, werden die Promillegrenzen für die Teilnahme im Straßenverkehr unterschieden.

Auch der in umgangssprachlich als bekannte „Kater“ bezeichnete Zustand (engl. „hangover“), geht mit Einschränkungen einher. [12] Faktoren wie genetische Gegebenheiten und der allgemeine körperliche Zustand sind stark variable Einflussfaktoren. [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18] Vergleiche zu ähnlichen Symptomen wie bei einem Zustand von 0,30 ‰ wurden gezogen. [12, 13, 18]

Diskussionsbehaftet ist das Vorhandensein eines sogenannten „Mellanby effects“. [19, 20] Dieser beschreibt einen ausgeprägteren zentralnervösen Alkoholwirkungseffekt im Rahmen der Resorptionsphase als in der Eliminationsphase. [19, 20] Toxikologisch liegt diesem Umstand vermutlich zugrunde, dass der Körper in der Resorptionsphase üblicherweise schnelleren Konzentrationsänderungen ausgesetzt ist. [20, 21, 22]

Wichtig sind hier in diesem Zusammenhang die Begriffe der Tenazität und Vigilität. Tenazität bedeutet, sich fokussiert auf eine bestimmte Situation konzentrieren zu können und Vigilität, neue Situationen erfassen zu können. Diese beiden Eigenschaften werden bereits in niedrigen Blutalkoholbereichen relevant herabgesetzt, sind jedoch höchst bedeutsam für ein verkehrssicheres Verhalten. [9]

1.3. Nachweis von Alkohol und rechtliche Grundlagen

Bei Verdachtsfällen von Verkehrsstraftaten unter Substanzeinfluss ist in Deutschland zunächst eine Blutentnahme vorzunehmen. Grund könnte ein konkreter Verdacht auf Trunkenheit im Verkehr (§316 StGB) oder eine Gefährdung des Straßenverkehrs (§315c StGB) sein. [23, 24]

Nach §81a der Strafprozessordnung ist diese richterlich anzuordnen. [6, 25] Falls jedoch mit einer Verzögerung und folgend einer Gefährdung des Untersuchungserfolges zu rechnen ist, ist es der Staatsanwaltschaft und

angehörigen Ermittlungspersonen (beispielsweise Polizei) erlaubt, diese Anordnung zu erlassen (§152 Gerichtsverfassungsgesetz). [6, 25, 26]

Sofern keine gesundheitlichen Nachteile aus der Untersuchung und Blutentnahme resultieren, darf diese ohne Einwilligung des Beschuldigten vorgenommen werden. [6, 25]

Aus forensischer und rechtlicher Sicht sind Alkoholanalysen aus Kliniklaboren nicht ausreichend und müssen in speziellen forensischen Instituten durchgeführt werden. [6] In Kliniklaboren wird häufig nur nach ADH-Methode und Serumwerten bestimmt. Weitere Analysen wie mit der GC-Methode fehlen. Kontaminationen mit alkoholhaltigen Desinfektionsmitteln sind im klinischen Alltag oft nicht ausgeschlossen. [6]

Die Messung der Ethanolkonzentration kann in verschiedenen Körpermaterialien erfolgen. [27] Nach Nativ- oder EDTA-Blut ist das hier mit dem Atemalkohol am meisten verwendete Medium Urin. [6]

Die Konzentrationsmessung im Urin hängt der im Blut hinterher, sodass eine simultane Entnahme über die aktuelle Abbauphase Erkenntnis geben kann. [27] Wenn z.B. die BAK niedriger als die Urinethanolkonzentration ist, befindet sich der Patient bereits in der Eliminationsphase. [27]

1.4. Die alkoholbedingte Fahrunsicherheit

Fahreignung und **Fahrsicherheit** sind voneinander zu unterscheiden. Die **Fahreignung** beschreibt eine zeitlich stabile Fähigkeit zum Führen eines Kraftfahrzeuges im Straßenverkehr. Fahreignung wird teilweise synonym verwendet zu Fahrtauglichkeit und Fahrereignung.

Sie ist unabhängig von einzelnen aktuellen Situationen oder Befindlichkeiten (körperlichem Zustand). Sie beinhaltet, ob die Person im Allgemeinen mit ihren Persönlichkeitsmerkmalen und psychophysischen Zustand in der Lage ist, ein Kraftfahrzeug zu führen. Somit fließt auch in die Beurteilung mit ein, ob chronische, physische, psychische Erkrankungen vorliegen, wie beispielsweise Drogen- oder Alkoholmissbrauch.

Im Weiteren ist die **Fahrferigkeit** Teil der **Fahreignung**. Sie beinhaltet Fähigkeiten, die zum Führen eines Kraftfahrzeuges erlernt werden können und müssen, sodass sie mit weiterer Übung verbessert werden können. Unter anderem wird sie auch als Fahrkompetenz oder Fahrfähigkeit bezeichnet.

Im Vergleich zur **Fahreignung** ist die **Fahrsicherheit** situations- und zeitbezogen. Sie kann äußerlich rasch beeinflusst werden, wie durch Drogen, Medikamente, Müdigkeit o.ä.. Ein synonyme Begriff ist die Fahrtüchtigkeit.

Das Antonym zur **Fahrsicherheit** ist die **Fahrunsicherheit**, die in der Regel reversibel ist. Eine **Fahrunsicherheit** liegt vor, wenn eine Person nicht mehr zum sicheren Führen eines Fahrzeuges in der Lage ist. Hierfür muss nicht zwingend eine alleinige Ursache vorliegen, sondern kann aus dem Zusammenspiel mehrerer Faktoren resultieren. [28, 29]

Speziell wird der Begriff der **Fahrunsicherheit** aufgrund alkoholischen Genusses weiter definiert.

Eine relative Fahrunsicherheit bei Kraftfahrzeugen liegt nach Alkoholkonsum im Promillebereich von 0,30‰ bis 1,09‰ (zum Fahrzeitpunkt) vor. Hierfür müssen jedoch alkoholtypische Beweiszeichen bzw. Auffälligkeiten vorliegen, wie z.B. Schlangenlinien fahren, Nichteinhalten der Fahrspur oder ähnliches. Im Bereich ab 0,50‰ liegt mindestens eine Ordnungswidrigkeit (§ 2 Abs. 1 FeV) vor, selbst wenn alkoholtypische Ausfallerscheinungen nicht vorliegen. [30]

Ab 1,10‰ ist von einer absoluten Fahrunsicherheit auszugehen. [31, 32] Im Gegensatz zur relativen Fahrunsicherheit sind alkoholtypische Ausfallerscheinungen nicht erforderlich. [32]

1.5. Durchführung einer Verkehrskontrolle und ärztliche Untersuchung

Es ist zu unterscheiden zwischen routinemäßigen Verkehrskontrollen ohne Fahrauffälligkeiten und anlassbezogenen Verkehrskontrollen im Rahmen von augenscheinlichen Fahrauffälligkeiten. Letztere beinhalten Verhaltensweisen, die nicht der Straßenverkehrsordnung entsprechen oder auf eine psychische Verlangsamung oder Enthemmung hindeuten. Zusätzliche Hinweise auf eine mögliche Beeinflussung durch Drogen oder Alkohol können im persönlichen

Kontakt der Polizeibeamten mit dem Fahrer erlangt werden. Eine angemessene Artikulation, Orientierung zu Ort, Person und Zeit sowie allgemeines Verhalten zur Situation werden beurteilt. Faktoren wie Nervosität bezüglich der Situation müssen hierbei beachtet werden. [33]

Erhärtet sich der Verdacht auf einen möglichen Substanzgebrauch, dürfen weitere Maßnahmen ergriffen werden. Im Falle von einem Verdacht auf Alkoholkonsum können Vortests mit einem Atemalkoholtestgerät durch die Polizeibeamten selbst durchgeführt werden. Da Vortests jedoch nicht gerichtsverwertbar sind, erfolgt nach einem auffälligen Befund eine ärztliche Untersuchung mit Blutentnahme. Verweigert der Tatverdächtige die Atemalkoholkontrolle, kann eine Blutentnahme angeordnet werden. [6, 25, 33]

Im ärztlichen Bericht werden gezielte Untersuchungen zu psychischer und motorischer Konstitution durchgeführt. Vorerkrankungen wie Diabetes, Epilepsie, psychologische Erkrankungen werden berücksichtigt und vermerkt. Notwendige Informationen für ein toxikologisches Gutachten bezüglich einer Fahrunsicherheit werden notiert, sodass eine Rückrechnung der möglichen BAK zum Zeitpunkt der Verkehrskontrolle erfolgen kann. Dazu zählen Uhrzeit der Verkehrskontrolle, Zeitpunkt der Blutentnahme, Körpergewicht, Körperlänge, Körperbau und wenn erinnerlich die konsumierte Menge an Alkohol sowie die letzte Mahlzeit. [33, 34]

1.6. Bisherige praktische Fahrversuche zur Fahrleistung unter Alkoholeinfluss

Zahlreiche Studien existieren, die sich mit den Auswirkungen von Alkoholeinfluss auf die Fahrleistung beschäftigen.

Die Grand-Rapids-Studie von Borkenstein et. al war eine der entscheidenden Studien, die das allgemeine Risiko von Alkohol im Straßenverkehr verdeutlichte und unter anderem eine Grundlage des BAK-OWi-Grenzwertes bildete. [35, 36, 37]

Basierend auf u.a. diesen wissenschaftlichen Erkenntnissen legte man fest, dass bei einer Blutalkoholkonzentration zwischen 1,00 bis 1,10 ‰ bei jedem Menschen alkoholbedingte Ausfallerscheinungen vorhanden sind, die für eine

gefährdete Teilnahme im Straßenverkehr sorgen (Beschluss BGH v.09.12.1966, Az.: 4 StR 119/66). [38]

Entsprechend entstand der Grenzwert der absoluten Fahrunsicherheit von 1,30‰, gebildet aus dem Grenzwert 1,10‰ und 0,20‰ Sicherheitszuschlag. Zu der Notwendigkeit dieses Sicherheitszuschlages entschied man sich, da mögliche Messfehler, interindividuelle Unterschiede der Alkoholeliminationszeit und Alkoholverträglichkeit mitberücksichtigt werden sollten. [38]

Im Urteil des Bundesgerichtshofs vom 09.12.1966 (Aktenzeichen: 4 StR 119/66) wurde schlussfolgernd der Grenzwert einer absoluten Fahrunsicherheit von 1,30 ‰ beschlossen. [38, 39]

Nach zunehmender Entwicklung und Ausbau des Straßenverkehrs entstanden weitere Studien, die sich mit der Komplexität des Führens eines Kraftfahrzeuges und der Teilnahme im Straßenverkehr beschäftigten und konkretisierten den Wert von 1,00‰. [40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48]

Es wurde weniger Fokus auf Einzelfunktionen, wie beispielsweise der Reaktionsfähigkeit oder dem Sehvermögen, gelegt. Die zunehmende Verkehrsdichte und erhöhten Geschwindigkeiten unterstützten die Annahme einer alkoholbedingten Überforderung in diesem BAK-Bereich. [48] Aufgrund verbesserter Labormethoden und Standardisierungen wurde der Sicherheitszuschlag auf 0,10 ‰ und somit der Grenzwert der absoluten Fahrunsicherheit inklusive diesem auf 1,10 ‰ verschärft. [39, 48]

1990 erfolgte daher eine Anpassung des 1966 festgelegten Grenzwertes der absoluten Fahrunsicherheit für Kraftfahrer. [39, 48]

1.7. Rechtsgrundlage E-Scooter

Seit Juni 2019 mit Inkrafttreten der Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung (eKFV) §1 Abs. 1 eKFV sind E-Scooter auf den deutschen Straßen zu finden. Grundgedanke für die Zulassung auf den Straßen war es, ein Angebot für längere fußläufige Wege zu schaffen, wie zu Haltestellen, Bahnhöfen, Park and Ride-Parkplätzen oder dem Arbeitsplatz. [49] Zusammengefasst findet man dies unter dem Begriff der Letzte-Meile-Mobilität, bzw. last-mile transportation. [50, 51, 52,

53] Ebenfalls wurde als Argument angeführt, ein aufgrund des elektrischen Antriebs umweltfreundliches Fortbewegungsmittel einzuführen. [54]

Bezüglich ihrer Wendigkeit und Größe schienen die E-Scooter gut geeignet für Fußgängerzonen zu sein, was jedoch auch eine erhöhte Unfallgefahr für Fußgänger implizierte. [55, 56]

E-Scooter werden unter dem juristischen Begriff „Elektrokleinstfahrzeuge“ geführt, wozu auch andere elektrische Fortbewegungsmittel, wie beispielsweise Segways, gehören. [57] Elektrokleinstfahrzeuge sind nicht zu verwechseln mit Pedelecs (Fahrräder mit elektrischem Antrieb), E-Bikes oder Kleinkrafträdern wie S-Pedelecs oder Elektro-Rollern. [57]

Nach §1 der eKFV gelten Elektrokleinstfahrzeuge als Kraftfahrzeuge und besitzen einen elektrischen Antrieb. Der Geschwindigkeitsbereich liegt zwischen 6 und 20 km/h. Die Kraftfahrzeuge können mit oder ohne Sitz ausgestattet sein. Zusätzlich wird das Vorhandensein von einem „selbstbalancierendem Fahrzeug“ mit oder ohne Sitz eingeschlossen. Hierunter ist ein integriertes elektronisches Balance-, Antriebs-, Lenk- und Verzögerungssystem zu verstehen. So muss gewährleistet sein, dass sich das Fahrzeug eigenständig ausbalancieren kann. [58]

Im Weiteren dürfen sie ein Leergewicht von 55kg nicht überschreiten. [58] Für die Straßennutzung ist ein amtliches Kennzeichen notwendig sowie eine entsprechende Versicherung. [59] Der Straßenverkehrsordnung ist Folge zu leisten. [60]

Wie bei Fahrrädern sind bei Vorhandensein von Radwegen diese von E-Scooterfahrern zu nutzen. Ist dies nicht der Fall, muss auf die Fahrbahn oder in verkehrsberuhigte Bereiche ausgewichen werden (§10 eKFV). [61] Sollte auf anderen Verkehrsflächen ein zusätzliches Schild die freie Nutzung von E-Scootern signalisieren, wird dies geduldet (§10 eKFV). [61]

Zunehmend besitzen E-Scooter Blinker zur Richtungsanzeige. Nach §11 (3) eKFV sind Handzeichen für eine Richtungsanzeige ausreichend. [61]

Die Altersbeschränkung zur öffentlichen Nutzung beträgt 14 Jahre (§3 eKFV). [62] Nach §8 eKFV ist die Mitnahme weiterer Personen neben dem Fahrer unzulässig. [63]

Aufgrund der Zuordnung zu Kraftfahrzeugen gilt dieselbe Promillegrenze wie bei diesen, was jedoch umstritten ist.

Nur wenigen Personen sind die grundlegenden Nutzungsvoraussetzungen geläufig oder diese werden nicht beachtet. [52, 57, 64] Im Jahr 2022 waren 18,6% der Unfälle mit Personenschaden auf eine nicht straßenverkehrsordnungsgerechte Nutzung der Fahrbahn oder eine Nutzung des Gehweges zurückzuführen. [65]

1.8. Alkoholproblematik bei der Nutzung von E-Scootern

Bereits zu Beginn der Zulassung auf den deutschen Straßen kam Kritik bezüglich der Verkehrssicherheit und steigenden Fahrten im alkoholisierten Zustand auf. [50]

Aufgrund des überwiegenden Selbstgefährdungspotenzials wurde teilweise der 1,60‰-Grenzwert zur Feststellung der absoluten Fahrunsicherheit wie bei einem Fahrrad vorgeschlagen. [51, 66] Diese Grenze gilt immerhin auch bei Pedelec-Nutzern, die ebenfalls einen elektrischen Antrieb besitzen, wenn auch nur zur Unterstützung der eigenen Muskelkraft. [57] Dieser Unterschied dürfte mit ein entscheidender Faktor bei der Grenzwertbestimmung sein. [67]

Häufig wird der Vergleich zu Fahrrädern gezogen, bei welchen aktuell noch sichtbar ist, dass im zahlenmäßigen Vergleich die Anzahl der betrachteten Nutzer und Verunfallten bei Fahrrädern höher liegt als bei E-Scootern. [39, 65, 68]

Betrachtet man jedoch allein die Gesamtzahl der Verkehrsunfälle der Fortbewegungsmittel separat, fanden auf E-Scootern 18,0% der Unfälle mit Personenschaden im Jahr 2022 unter Alkoholeinfluss statt. Bei Fahrradfahrern waren es hingegen nur 8,2%. [65]

Die Gesamtzahl von E-Scooter-Unfällen in Deutschland mit Personenschaden ist von 2021 auf 2022 um 49% auf N=8260 gestiegen, wobei der Großteil (80%) der Verunfallten den E-Scooter selbst fuhr. [65]

Die Statistiken verdeutlichen, dass sich die Unfallzahlen insbesondere in Großstädten und weniger in Kleinstädten widerspiegeln: 64,9% der E-Scooter-Unfälle mit Personenschaden fanden in Städten mit mehr als 100.000 Einwohnern statt; hingegen waren Fahrräder ohne Hilfsmotor (44,0%) und Pedelecs (28,8%) weit weniger stark auf solche Städte konzentriert (DESTATIS). [65]

Ebenfalls spielt das Nutzungsverhalten eine entscheidende Rolle, welches natürlich vom Angebot abhängt:

Nutzungszeiten

Die Nutzungszeiten spiegeln den Nutzungszweck der jeweiligen Transportmittel wider. Im Vergleich zu Fahrradunfällen sind E-Scooter-Unfälle eher am Wochenende als unter der Woche zu verzeichnen. [68, 69]

Ein Großteil der Unfälle, die auch zu einem hohen Anteil unter Alkoholeinfluss mit E-Scootern stattfinden, findet nachts und am Wochenende statt. [52, 54, 69, 70, 71] Dieser Zeitraum lässt sich als „off-working hours“ beschreiben. [72] 28% der verunfallten E-Scooter-Fahrer standen nachts im Zeitraum von Juni 2019 bis Juni 2020 in Hamburg unter Alkoholeinfluss, während dies nur bei 6% der verunfallten Fahrradfahrer der Fall war. [68] Diese Daten spiegeln sich in weiteren Studien wider. [69, 73]

Betrachtet man die Häufigkeit des Radfahrens unter Alkoholeinfluss liegen Daten aus Düsseldorf vor, die verdeutlichen, dass ebenfalls etwa 60% der Fahrten unter Alkoholeinfluss bei Fahrradfahrern am Wochenende stattfinden. [11]

Diskussionen haben bereits begonnen, ob Nutzungsbeschränkungen nachts erfolgen sollten. [52, 71, 72]

Jedoch gilt es zu beachten, dass zum aktuellen Zeitpunkt deutlich mehr Fahrradfahrer als E-Scooter-Fahrer am Straßenverkehr teilnehmen [68, 69].

Nutzungsgruppen

Insbesondere jüngere Leute würden in die vorherig genannten Nutzungszeiten fallen. [72, 74] Insgesamt waren im Jahr 2022 allein 80,7 % der verunfallten E-

Scooter-Fahrenden, unabhängig vom Alkoholeinfluss, jünger als 45 Jahre. 40,2% waren jünger als 25 Jahre. [65] Eine Begründung für den hohen Anteil junger Fahrer könnte sein, dass diese eher mit Mobilgeräten umgehen können, welche zum Freischalten der Leasinggeräte benötigt werden. [68, 69, 73]

Zudem werden Fahrräder eher für berufliche Wege genutzt und E-Scooter für private Zwecke. [68, 69, 73]

Bezüglich der allgemeinen Nutzung unter Alkoholeinfluss, unabhängig der Nutzungszeiten, liegen geteilte Beobachtungen vor, sodass hier keine klaren Altersunterschiede zu verzeichnen sind. [72]

Geliehene E-Scooter scheinen jedoch einen höheren Einfluss auf die Nutzung unter Alkoholeinfluss zu haben als eine Nutzung mit einem E-Scooter im Eigenbesitz. [49]

Eigene Einschätzung Fahren unter Alkoholeinfluss

Eine Studie aus Norwegen befasste sich unter anderem damit, wie fahrsicher sich Fahrer selbst einschätzen würden, nachdem sie Alkohol konsumiert haben. [52] Eine geläufige Variante in Norwegen bzw. skandinavischen Ländern ist eine Trinkeinheit mit „Units“ zu bezeichnen. [52] Eine Unit beschreibt beispielsweise ein Glas Bier, ein Glas Wein oder 2/4cl Spirituose. Es zeigte sich, dass im Durchschnitt die Befragten sich mit 1,32 Einheiten noch als fahrsicher einschätzen würden. Jüngere Erwachsene waren tendenziell der Meinung, mehr konsumieren zu können. [52]

Die eigene Leistungsfähigkeit wird überschätzt, insbesondere bei leichter, beginnender Alkoholisierung. [9]

Verletzungsmechanismen bzw. Unfallmechanismen

Bei Betrachtung der Unfallmechanismen und Verletzungsarten lassen sich Unterschiede bei Fahrern mit und ohne Alkoholeinfluss feststellen. Auffällig ist, dass unter Alkoholeinfluss mehr Kopf- und Nackenverletzungen zu beobachten sind und sich das allgemeine Risiko für Frakturen erhöht. [68, 69, 72, 75] Aufgrund der eingeschränkten Schutzreflexe unter Alkoholeinfluss, wie das

Ausstrecken der Hände bei einem Sturz, lassen sich diese Verletzungen erklären. [72]

In Kombination mit den kleinen Rädern, die den Drehimpuls deutlich verringern, liegt eine deutliche geringere Stabilität vor als bei einem Fahrrad, was das Unfallrisiko erhöht, z.B. bei Kontakt zu einem Bordstein. Hinzu kommen relativ hohe, leicht zu erreichende Geschwindigkeiten (bis max. 21 km/h) [54, 69, 76]. Im alkoholisierten Zustand werden außerdem kaum Helme getragen. [69, 72]

Geschlechterunterschied

Bezüglich des Nutzungsverhaltens unter Alkoholeinfluss ist zu beobachten, dass hauptsächlich Männer betroffen sind und entsprechend häufiger verunfallen. [69, 72, 74, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83]

Beteiligung andere Verkehrsteilnehmer

Die meisten Fahrer stürzen selbst ohne Fremdbeteiligung [68, 72]. Unfälle mit Kollisionen anderer Verkehrsteilnehmer sind bei E-Scooter-Nutzern prozentual niedriger als bei Fahrradfahrern (2 zu 18%). [68, 69]

Aufgrund des Gebrauchs in den niederfrequenten Nutzungszeiten wird weniger Kollisionspotential mit weiteren Verkehrsteilnehmern geboten. [69]

Rechtlich ist nur eine Einzelnutzung bei E-Scootern erlaubt. Jedoch sind stetig Nutzungen zu beobachten, bei denen sich mehrere Verkehrsteilnehmer auf einem Fahrzeug befinden, was das Gefahrenpotential erhöht. [66, 67, 69, 71, 84]

Allgemein kulturelle Unterschiede sowie kulturelle Unterschiede in Bezug auf die Geschlechterverteilung im Trinkverhalten, die Einfluss auf das Fahren unter Alkoholeinfluss ausüben, sind vorhanden. [52, 69, 85, 86, 87, 88]

Die aufgezählten Beobachtungen verdeutlichen, insbesondere für den deutschen Nutzungsmarkt, das Verhalten von E-Scooter-Fahrern.

1.9. Ziele der Arbeit

Seit der Einführung der E-Scooter im deutschen Straßenverkehr sind wiederkehrende Diskussionen bezüglich der alkoholbedingten Fahrunsicherheit bei deren Nutzung vorhanden.

Aufgrund ihrer Bauweise sind Vergleiche zu anderen Kraftfahrzeugen oder dem Fahrrad schwer möglich.

Zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie waren keine vergleichbaren experimentellen Studien mit E-Scootern-Fahrern unter Alkoholeinfluss durchgeführt worden. Aus diesem Grund erfolgte die Umsetzung realer Fahrversuche mit E-Scooter-Fahrern unter Alkoholeinfluss. Folgende Hypothese wurden vorab aufgestellt:

Bereits in niedrigen BAK-Bereichen sind Ausfallerscheinungen aufgrund von Alkoholeinfluss zu verzeichnen.

Ferner sollte geklärt werden, ob der Grenzwert zur absoluten Fahrunsicherheit von 1,10 ‰ anzupassen ist.

Aufgrund der simplen Durchführbarkeit des Romberg-Tests und des Unterberger-Tretversuches, war ein weiteres Ziel zu klären, inwiefern die Ergebnisse dieser neurologischen Untersuchungen die Fahrleistung von E-Scooter-Fahrern unter Alkoholeinfluss widerspiegeln und ob sie eine sinnvolle Ergänzung im Rahmen der ärztlichen Untersuchung bei Verdacht auf eine Trunkenheitsfahrt sein können.

1.10. Ethikvotum

Die Studie wurde der Ethikkommission der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf im Vorfeld zur Überprüfung vorgelegt. Ein positives Ethikvotum liegt vor:

Studennummer: 2019-735

Referenznummer/Registrierungs-ID: 2019105267

Datum: 07.04.2020

2. Publierte Originalarbeiten

Zube K, Daldrup T, Lau M, Maatz R, Tank A, Steiner I, Schwender H, Hartung B (2022). E-Scooter driving under the acute influence of alcohol - a real-driving fitness study. *Int J Legal Med*; 136(5):1281-1290

Zube K, Daldrup T, Maatz R, Lau M, Hartung B (2022). Wie wirkt sich Alkoholeinfluss auf die Fahrsicherheit beim Führen eines E-Scooters aus? - Wesentliche Ergebnisse eines Real-Fahrversuchs. *Blutalkohol*; 59:175-181

Zube K, Lau M, Daldrup T, Bruch GM, Tank A, Hartung B (2023). The „Mellanby effect“ in alcoholised e-scooter drivers. *Int J Legal Med*; 137(2):537-543.



E-scooter driving under the acute influence of alcohol—a real-driving fitness study

Katharina Zube¹ · Thomas Daldrop¹ · Michael Lau² · Rüdiger Maatz³ · Anne Tank¹ · Irina Steiner¹ · Holger Schwender² · Benno Hartung⁴

Received: 20 October 2021 / Accepted: 1 February 2022 / Published online: 26 February 2022
© The Author(s) 2022

Abstract

Purpose To assess the effects of alcohol on the ability to drive an e-scooter, driving tests reflecting real-life situations accompanied by medical examinations focusing on balance were conducted at different blood alcohol concentrations (BACs).

Methods Fifty-seven subjects who consumed alcohol (28 female, 29 male) and 6 consistently sober subjects (3 female, 3 male) participated in the study. Alcohol was administered on a fixed schedule, and the individual drinking quantity was individually calculated in advance using the Widmark formula. Repeated runs through a fixed course were performed. Following each ride, a blood sample was taken for BAC determination, and medical tests were performed.

Results Even at low BACs (0.21–0.60 g/kg), subjects showed a significant decrease in driving performance, to approximately 60% of the initial level. Differences in driving performance at different BAC ranges were observed for different obstacles, especially for the narrowing track, gate passage, slalom, and driving in circles obstacles. Furthermore, worse Romberg and Unterberger test results were correlated with worse driving performance. It cannot be assumed that learning effects during the study had a relevant effect, as shown in the comparison of the driving performance of the alcohol-consuming group with that of the control group. Sex-specific differences were not found.

Discussion Significant deteriorations in driving performance at BACs below 1.10 g/kg confirmed alcohol-related risk potential when using e-scooters. At this time, these findings may lead to the assumption of “relative driving impairment” in Germany. The Romberg and Unterberger tests could be considered a complementary investigation method for the assessment of e-scooter driving impairment.

Conclusion Even at rather low BACs between 0.21 and 0.40 g/kg, there was a significant deterioration in driving performance under the influence of alcohol compared to sober, which highlights the negative effects of alcohol on e-scooter driving.

Keywords E-scooter · Driving under the influence · Neurological examination · Alcohol · Impairment

Introduction

Due to the increasing interest in e-scooters, an increasing number of legislative problems have become apparent [1]. I.e., the question arose, whether e-scooter driving under the influence of alcohol is comparable to driving of other motor vehicles or if it constitutes a new category. The driving of e-scooters differs from the driving of other motor vehicles, as it takes place in an upright standing position, as e-scooters have low wheel diameters and short steering bars and usually possess the ability to accelerate quickly [2, 3]. One could imagine that the sense of balance must meet higher demands for the driving of e-scooters than for the driving of other vehicles. After alcohol consumption, these are particularly important factors that must be evaluated specifically.

✉ Benno Hartung
benno.hartung@med.uni-muenchen.de

¹ Institute of Legal Medicine, University Hospital Düsseldorf, Düsseldorf, Germany

² Institute of Mathematics, Heinrich Heine University, Düsseldorf, Germany

³ Federal Court of Justice, Karlsruhe, Germany

⁴ Institute of Legal Medicine, Ludwig-Maximilians-University, Munich, Germany

The negative impact of alcohol on driving a car or bicycle is well known [4, 5]. A distinction must be made between constraints in simple and complex actions [5, 6]. Moreover, it is necessary to assess interindividual differences in driving performance [6].

Furthermore, e-scooters are mostly used as independent alternatives to cars and bicycles, often especially for the last kilometres to a destination [7]. “Fun” is another main reason for driving e-scooters [8, 9]. According to the Federal Statistical Office (“Statistisches Bundesamt”), many drivers in e-scooter accidents in Germany in 2020 were under the influence of alcohol (18.3%) [10, 11]. Twenty-nine percent of these accident-involved drivers were in the age range of 15–25 years [11]. Few studies have investigated and noted the time of accidents. Accidents often happen during the weekend and at night [3], often under the influence of alcohol [12].

Injuries related to e-scooter accidents mostly affect the head and face and the upper extremities [3, 7, 12–16]. Uluk et al. [17] stated that these injury patterns are similar to those of cyclists and pedestrians, but the accident mechanisms are different. Some of the patients in this study claimed to have lost balance while making a hand signal for turning [17]. Störmann et al. [14] compared the injury patterns to those for different types of sports and determined that the injury patterns were similar to those of skateboarders and snowboarders [14, 18, 19]. In a known manner, these sports have a high demand for a sense of balance. In addition, electric motor acceleration could increase the risk of accidents [20]. The consumption of alcohol could affect these particular factors which would increase the safety risk.

The alcohol limits for the operation of an e-scooter vary. In some countries, the limits are the same as those for riding a bicycle; in others, the limits are the same as those for riding e-bikes; and in other countries, the limits are the same as those for driving motor vehicles [21].

In Germany, in addition to the offence limit of a blood alcohol concentration (BAC) of 0.50 g/kg, a sophisticated system of alcohol thresholds exists. The jurisdiction differentiates between “relative” and “absolute” impairment for both motor and nonmotor vehicles. A “relative” impairment citation may be given starting at 0.30 g/kg if alcohol-related driving errors or relevant alcohol-related psychophysical impairments are evident. An “absolute” impairment citation may be given if a driver has a BAC of at least 1.10 g/kg at the time of an incident. Practical driving resp. cycling tests are crucial for the determination of BAC thresholds [4].

The main objectives of this study were to examine alcohol-related impairments when using an e-scooter, with the question of whether the current BAC limit of 1.10 g/kg for absolute impairment to drive an e-scooter is adequate.

The control group should disclose whether repeated driving over several hours leads to an obstacle habituation with

an improvement in the driving performance or exhaustion with worsening of the driving performance.

Material and methods

The study was approved by the ethics committee of the University Hospital Düsseldorf (study number: 2019–735). All involved persons were contractually insured.

Inclusion criteria

The following inclusion criteria had to be met for participation in the study:

- o age between 18 and 50 years,
- p ability to drive an e-scooter (at least 2 e-scooter utilisations before the study),
- q experience with the consumption of alcohol (the consumption of at least two alcohol drinks per month in the past 6 months),
- r negative urine screening for drugs prior to the start of trial, and
- s medical health certificate (at most 4 weeks old).

Exclusion criteria

- o pregnancy or breastfeeding;
- p general alcohol abstinence;
- q neurological or psychiatric diseases;
- r disturbances of liver function or of the muscular or skeletal system; and
- s a history of joint-preserving or joint-replacing procedures.

Course

The course was partially based on the templates introduced by Schewe et al. [22, 23] and Hartung et al. [4], as well as new elements that were considered potentially relevant for e-scooter drivers. Previously described obstacles included a narrowing track, a gate passage, an alley drive, driving in circles counterclockwise, and a slalom ride with decreasing spacing.

On the first and second day, a fixed lap with 9 obstacles had to be passed (Figure 1). The following sequence had to be completed: A, B, C, D, E, F, G.1, H, I.

Two obstacles were varied on days 3 and 4: the single alley drive (G.1) became an either/or-alley drive. In this section, the drivers had to react to a previously emitted light signal (Figure 2; G.2.). Furthermore, the speed track (I) was shortened from 17.7 to 16.5 m.

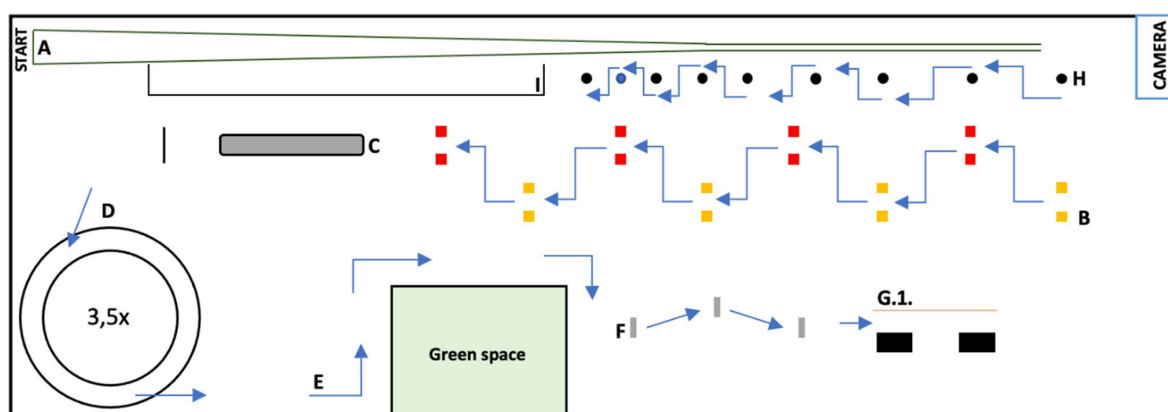


Fig. 1 Course: A: narrowing track (45 m length); B: gate passage (spaced at 1.30 m); C: gravel bed (6.90 m length); D: driving in circles counterclockwise 3.5 times; E: three turns with timely directional indication (left–right–right); F: three thresholds; G.1: alley (width:

1.05 m; length: 5.55 m); H: slalom ride with decreasing spacing (2×4 m; 2×3 m, 2×2 m; 1×1.5 m); I: speed track (17.7 m resp. 16.5 m)



Fig. 2 G.2; alley drive with an upstream light signal indicating which of the two lanes should be used

Moreover, on days 3 and 4, 6 elements had to be passed a second time after the completion of the abovementioned course (Figure 1; elements with two passes in the following order A, B, C, D, E, F, G.2, H, I, D, E, F, G.2., B, C). Passing the elements A–I took approximately 1:40 min.

E-scooters and test area

E-scooters (Tier, model ES 400B, Tier Mobility AG, Berlin, Germany) were rented. The maximum speed that could be achieved was 20 km/h (German legislation).

The study took place at a closed, nonpublic, asphalted resp. paved area.

There were a total of four test days with dry, wet, and rainy weather conditions.

The prescribed protective clothing was a jet helmet, motorcycle clothing with integrated elbow and spine protectors, and additional hip, knee, and wrist protectors.

Cameras

Driving was recorded with two video cameras from different perspectives: a film camera in an elevated position for overview recording and a mobile camera (GoPro Hero 3) mounted below the handlebars and facing the front wheel.

Alcohol

Each alcohol-consuming subject had to choose one of the following alcohol types in advance: beer, red wine, white wine, vodka, grain spirits, or rum. Switching during the experiment was not permitted.

Basic experimental set-up

Each test subject was allowed to run the course until he/she felt confident and familiar with it (at least three times).

This was followed by the first run (sober), which defined the baseline.

The following alcohol consumption period varied between 02:22 and 04:41 h.

All subjects completed at least three runs in the state of alcoholisation, one of which was approximately at the assumed maximum BAC.

After each run (both in the state of soberness and under the influence of alcohol), a blood sample was taken, and medical examinations of the sense of balance were performed (Romberg test, Unterberger test, see below). The timeline is presented in Figure 3.

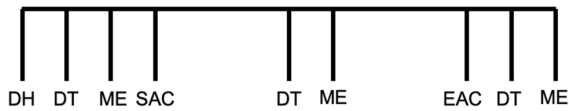


Fig. 3 Timeline of basic experimental set-up. DH, driving habituation; DT, driving test; ME, medical examination (including blood sample); SAC, start of alcohol consumption; EAC, end of alcohol consumption. The alcohol consumption time varied between 02:22 and 04:41 h. Between ACB and ACE were one up to two DT completed. After ACE were two up to three DT completed. The time from DH to the last ME varied between 05:15 and 07:30 h (excluding drop outs)

Before each run, test subjects were named a trisyllabic word, which had to be reproduced at the end of the course.

The individual drinking quantity was calculated in advance for each subject by using the Widmark formula. A resorption deficit was taken into account, which was set at 20% for beer and 15% for wine, vodka, grain spirits, and run. The proportion of body water was adjusted to the respective body weight, height, and sex. The calculations were made in such a way that the highest BAC at which a driving test should be performed at approximately 1.30 g/kg.

Medical examinations

After each ride, blood samples were drawn, and both the Romberg test and Unterberger test were carried out. The examinations took place in a slightly darkened room that was as quiet as possible so that the possibility of orientation to light or hearing sources was minimised.

Romberg test

- o feet close together;
- p arms stretched forwards, palms up;
- q eyes open for 30 s; and
- r eyes closed for 30 s.

Unterberger test

- o arms stretched forwards, palms upwards;
- p closed eyes; and
- q 60 s (50 steps) walking on the spot.

Questionnaires

Prior to the study, subjects were asked to complete questionnaires regarding their experiences with e-scooters and alcohol. The questions regarding e-scooter driving experience, driving experience under the influence of alcohol and alcohol consumption habits can be seen in the supplementary material (1.).

Toxicological analyses

BACs were determined according to the current German forensic guidelines [24].

On site, the urine samples were screened for amphetamine, cannabinoids, cocaine, methamphetamine, morphine (opiates), benzodiazepines, buprenorphine, and pregabalin (Drug-Screen Multi 8AQ Test 25 Multi-Dip Tests, nal von minden GmbH, Moers, Germany).

Afterwards, serum from the study participants was analysed as follows: 0.6 ml serum sample was mixed with 20 µl internal standard solution (20 ng/µl camazepam in methanol) and 100 µl sodium carbonate buffer (pH 8.6). The mixture was extracted with 1.2 ml of dichloromethane/diethyl ether (70:30, v/v) and the extract evaporated to dryness under a stream of nitrogen at 60 °C (home-made evaporator). The residue was dissolved in 60 µl acetonitrile/5 mM ammonium formate buffer (13:87, v/v, containing 0.1% formic acid) and analysed by HPLC–PDA–MS/MS (Acquity UPLC–PDA coupled to an Acquity TQ-detector in MRM mode, Waters Europe). An Acquity HSS C18 column (1.8 µm, 2.1 × 150 mm, Waters Europe) was used for HPLC (flow rate 0.45 ml/min). With this LC–MS/MS–MRM method, approximately 230 different drugs and pharmaceuticals can be detected in serum in one run. In addition, substances absorbing ultraviolet light are detected with the PDA detector.

Evaluation

Demerits were allocated for distinctive features. Regarding driving features, coordinative and cognitive driving features were differentiated. Medical test features were evaluated separately. Features that were considered more relevant for road traffic safety received more demerits. Allocated demerits for specific errors can be seen in the supplementary material (2.).

Statistical analyses

An “absolute score” (absolute driving performance) was first calculated by adding allocated demerits. Therefore, all unchanged obstacles A, B, C, D, E, F, H were included. Furthermore, for the collective analysis of the four test days, only the first passage of each obstacle during each run was included, as some obstacles had to be passed twice on days 3 and 4. All obstacles were also evaluated separately, leading to an “error score” for each obstacle.

An “individual score” (individual driving performance) was also determined, which resulted from the comparison of the absolute score of the first run (sober) with the absolute score of the respective run while under the influence of alcohol. For this purpose, only obstacles A, B, C, D, E, F, H on their first passage were included.

Subjects with an absolute score of zero points received one point to enable the calculations of all individual scores.

Individual Score = sober absolute score/current absolute score

Individual Score = (sober absolute score + 1)/(current absolute score + 1)

To enhance the baseline data, the collective sober data were always included in the statistical calculations, except when considering the “Influence of alcohol experience on driving performance”.

The result of a statistical test was considered significant if the *p* value was less than 0.05.

Results

Subjects

Fifty-seven subjects who consumed alcohol (28 females, 29 males) and 6 sober control subjects (3 females, 3 males) were included in the study.

The median age was 29 years in the alcohol-consuming group (range: 18 to 49 years). The median age for females was 26 years (range: 19 to 48 years) and that for males was 31 years (range: 18 to 49 years).

The control group had a median age of 26 years (women, 27 years, range: 22 to 30 years; men, 26 years, range: 23 to 31 years).

Two female subjects dropped out after the second ride on the fourth day (owing to the hospitalisation of one subject due to an alcohol-related accident off the course and at the request of an escort of the second subject).

Drug screening

The toxicological analyses of the serum samples showed a positive result for doxylamine (an antihistamine with sedative effects used to treat cold or allergy symptoms) in one test subject and a positive result for fluoxetine (a stimulating antidepressant of the selective serotonin reuptake inhibitor class) in one other person. There was no other intake of drugs or medication with effect of the central nervous system. We see no reason why a previous use of doxylamine or regular use of fluoxetine had a relevant impact on the results of the study.

Achieved BACs

The median of the achieved maximum BACs was 1.16 g/kg (range of the achieved maximum BACs excluding drop outs: 0.54–1.70 g/kg). Fifteen test subjects did not reach 1.00 g/kg.

Sex

No difference between females and males in terms of worsening driving performance was found, neither by comparing the results of the “absolute scores” (*p* value: 0.65) nor by comparing the results of the “individual scores” (*p* value: 0.92).

Influence of driving and alcohol experiences on driving performance

Previous e-scooter driving experience had no influence on the “absolute score” (*p* value: 0.11) or the “individual score” (*p* values: 0.23). In subjects with at least two e-scooter experience points, individual driving performance deteriorated but remained roughly constant with increasing experience points (except an e-scooter driving experience score of 6).

Sixteen percent (10 of 62) of the subjects had previously used an e-scooter under the influence of alcohol.

Neither the “absolute score” (*p* value: 0.13) nor the “individual score” (*p* value: 0.17) showed improved or worsened results in correlation with a drunk driving experience with an e-scooter.

Romberg test and Unterberger test

Insecurity scores

The medical examinations focused on balance. Differences in performance (insecurity scores) on the Romberg test and the Unterberger test, both alone and in combination, were noticeable with increasing BACs. Noticeable differences in Unterberger stepping test performance included increased swaying and stepping insecurity; noticeable differences in Romberg test performance included increased swaying while standing securely with arms outstretched. These differences were reflected in increased demerits in the individual insecurity score. The *p* values for the Romberg test (<0.01) and Unterberger test (<0.01) showed a correlation between an increasing insecurity score and increasing BAC.

The *p* values for the correlation of Romberg performance with the absolute score (<0.01) and individual score (<0.01) showed a correlation between an increasing insecurity score and decreasing driving performance.

The *p* values for the correlation of Unterberger test performance with the absolute score (<0.01) and individual score (<0.01) also showed a correlation between an increasing insecurity score and decreasing driving performance.

Turning > 45°

In addition to the insecurity score, differences in turning around from a starting point (Unterberger test) in degrees

were noted. A deviation of $>45^\circ$ indicated a positive and conspicuous result. Just a trend for an association between higher BACs and a positive test result was seen (p value: 0.15).

Cognitive errors

Remembering a word

In total, the word that was named before each run was forgotten 16 out of 280 times (Figure 4). A correlation between forgetting the word that was named and increasing BAC could be shown (p value: <0.01), and the word was mostly forgotten at higher BACs. In addition, a significantly worse driving performance was present if the word could not be remembered (p values: absolute score < 0.01 ; individual score < 0.01).

Reaction to light signal during lane driving on days 3 and 4

It could not be shown that the reaction ability was impaired with decreasing driving performance. Only a few subjects reacted incorrectly to the light signal (p values: absolute score 0.94; individual score 0.42). Furthermore, no differences in the BAC ranges could be shown (p value: 0.20).

Evaluation of isolated obstacles at increasing BACs

Independent of the BAC, the obstacles gravel bed, three turns with timely directional indication, and thresholds were regularly passed with a low number of demerits or no demerits at all. In conclusion, the p values were not exploitable.

The obstacles alley drive and speed track could not be compared to other obstacles, as the number of observations (resp. drives) was too low.

Performance on the narrowing track obstacle showed mainly nonsignificant alcohol-related changes (partially few observations only) in the error score below 1 g/kg. Starting from 1.01 g/kg (e.g. 1.01–1.20 g/kg; p value < 0.01), the p values were constantly significant (Table 1).

During the gate passage and the slalom obstacles, statistically significant distinctive features in the error score constantly appeared at BACs above 0.80 g/kg (e.g. 0.81–1.00 g/kg; p values gate passage < 0.01 ; slalom < 0.01). With increasing BACs, the p values remained constantly significant (Table 1).

Driving in circles counterclockwise showed constantly significant results in all BAC ranges above 0.40 g/kg (e.g. 0.41–0.60 g/kg; p value < 0.01) (Table 1). The test subjects' error scores are presented in Figure 5.

Influence of increasing BACs on the time to pass the obstacles

Whether an increased time to pass the obstacles (regardless of potentially committed errors) correlates with increasing BACs was investigated. The obstacles gate passage, driving in circles counterclockwise, the alley at days 3 and 4, and the speed track at days 3 and 4 required more time to pass with increasing BACs (Table 2, supplementary material).

Furthermore, an increased time to pass the obstacles correlated with an increasing error score. The time needed to pass the narrowing track, gate passage, driving in circles counterclockwise, the alley at days 3 and 4, and the speed track at days 1 and 2 showed highly significant p values when compared to the error score (Table 2).

Fig. 4 Remembered and forgotten words after each run in comparison to the BAC (y-axis) (p value: <0.01). Boxes contain 50% of the observations. Black lines indicate the respective median. Circles indicate outliers. Satellites indicate the most extreme observations in the range of $1.5 \times$ (interquartile range) to the boxes

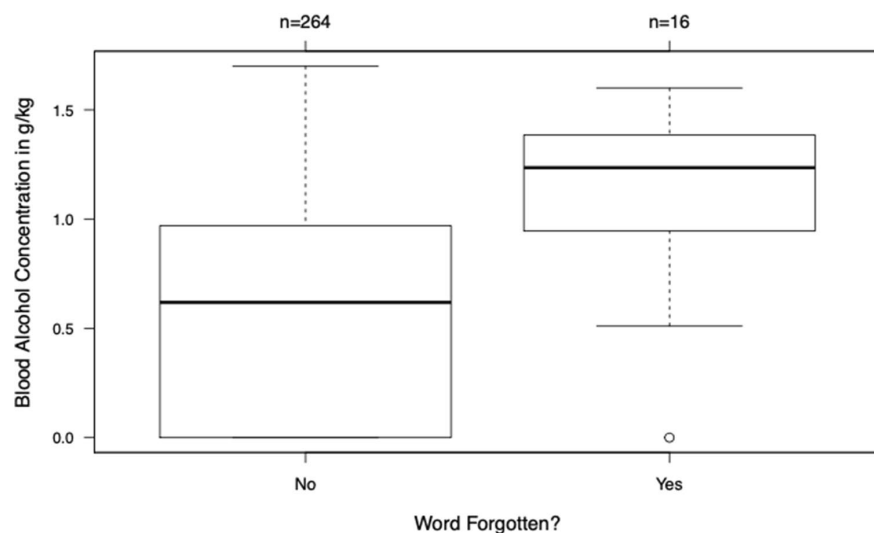


Fig. 5 Demerits of the error score for driving in circles counterclockwise at increasing BAC ranges. The figure includes all drives of sober subjects and subjects drinking alcohol. Boxes contain 50% of the observations. Black lines indicate the respective median. Circles indicate outliers. Satellites indicate the most extreme observations in the range of $1.5 \times$ (interquartile range) to the boxes

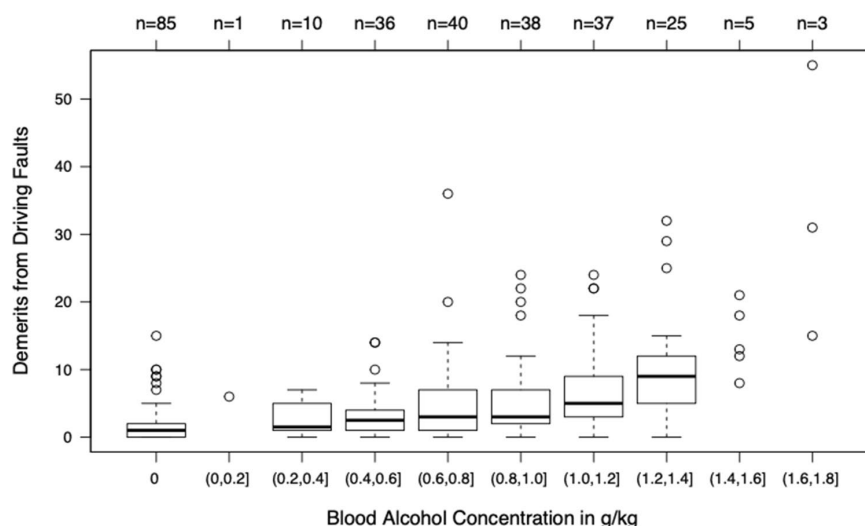


Table 1 *p* values of the sober performance versus the stated BAC range yielded by the error score for the named obstacles. The ranges 0 vs. [0.01–0.20], 0 vs. [1.41–1.60], and 0 vs. [1.61–1.80] are not illustrated, because of low observation numbers in the respective BAC groups (1 to 5 observations only)

BAC	Number of subjects	Narrowing track	Gate passage	Slalom	Circles counterclockwise
0 vs. [0.21–0.40]	10	0.50	0.81	0.02	0.06
0 vs. [0.41–0.60]	36	0.01	0.69	0.18	<0.01
0 vs. [0.61–0.80]	40	0.12	0.37	0.61	<0.01
0 vs. [0.81–1.00]	38	0.19	<0.01	<0.01	<0.01
0 vs. [1.01–1.20]	37	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
0 vs. [1.21–1.40]	25	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Again, *p* values for the obstacles gravel bed, turns with timely directional indication, thresholds, and alley at days 1 and 2 are only somewhat meaningful, since the achieved error scores of the test subjects were almost always zero (Table 2, supplementary material).

Individual driving performance at different BAC ranges

In comparison to the driving performance while sober (including the performance of sober control subjects), the driving performance at BACs ranging from 0.21 to 0.40 g/kg exhibited a decrease in the average individual driving performance of approximately 40%. A slower but continuous decrease in the “individual driving performance” at increasing BACs was evident. In the BAC range of 0.81–1.00 g/kg, a mean decrease of 62% was noted. At BACs from 1.01 to 1.20 g/kg, an average decrease of 72% was seen (Table 3; supplementary material).

Absolute and individual scores were significantly altered at low BAC ranges (starting at approximately 0.30 g/kg each; Table 4; supplementary material).

Habituation and learning in experiment

In the sober collective data, only two subjects showed an improvement in their driving performance on the second drive. The other subjects fluctuated between better and worse driving performance across drives. Compensably, neither an improvement (e.g. due to habituation to the course) nor a worsening (e.g. due to tiredness) during the trial can be assumed.

Discussion

To the best of the authors’ knowledge, these experiments provide first-ever e-scooter driving data from prospective real-driving tests.

First, a significant decrease in the individual driving performance already at low BAC ranges was seen. In the BAC range, which is closest to the German threshold of absolute impairment to drive a motor vehicle of 1.10 g/kg (here: 1.01–1.20 g/kg), the individual driving performance decreased strongly.

This severe decrease is highly relevant for road traffic safety because there are indications that e-scooters are used as an alternative to cars for transportation home after alcohol consumption [3]. A decreased “individual score” of this amount can lead to a higher injury risk for both drivers and others on the road.

Second, the isolated obstacles, especially the narrowing track, gate passage, circles counterclockwise, and slalom obstacles, were significantly correlated with high demerits at increasing BACs.

Both the narrowing track and the circles counterclockwise obstacles represent possible situations in which track holding is crucial, e.g. driving on narrow bicycle lanes or turn-around manoeuvres in narrow streets. Significant increases in the “error score” were found in both cases: for the narrowing track obstacle, constantly in the BAC range of 1.01–1.20 (p value < 0.01) and for the circles counterclockwise obstacle, constantly in the BAC range as low as 0.41–0.60 (p value < 0.01).

The gate passage and slalom obstacles might mimic avoiding pedestrians or their dogs on commonly used ways or parking cars. Here, differences in negotiating the gate passage and slalom obstacles were evident from a minimum BAC of 0.81 g/kg (p values gate passage < 0.01 ; slalom < 0.01). Therefore, drivers of e-scooters with BACs above this range may represent a higher danger for pedestrians.

Third, the e-scooter driving performance under the influence of alcohol was also well reflected in the examination results of the Romberg test and Unterberger test. In a study from Penner and Coldwell in 1958 [25], several medical examinations were discussed and reviewed to evaluate which examination method is appropriate to reflect driving performance under the influence of alcohol. Interestingly, their results are contradictory to ours. However, Penner and Coldwell analysed car driving performance. The equilibrium sense is challenged in car driving much less than in e-scooter driving. This aspect seems crucial. Insofar, one might want to consider equilibrium examinations in the field sobriety report (e.g. so-called Torkelbogen) of e-scooter drivers. We did not carry out all field sobriety tests as they had been assessed by the research group before on a large sample [4]. However, it must be kept in mind that the presented criteria require subjective judgements, and in the present study, the investigators were aware of the amount of alcohol consumed, so the data were gathered in a nonblinded manner.

Fourth, only a few errors were generally seen on other obstacles (gravel bed, turns with timely directional indication, thresholds, one alley), so meaningful results were not obtained for these obstacles.

Unexpected was the low error rate associated with the gravel bed obstacle. We assumed possible falls at higher BACs or at least regular driving difficulties. However, this was not the case. Test subjects drove through the gravel bed

rather briskly, which led to fewer uncertainties in the gravel. It is well known that gravel often causes problems when braking and/or turning; therefore, a linear drive-through might not have represented the full threat of a gravel bed.

The thresholds were flattened and not directly shaped like an angular sidewalk. Possibly, this enabled a smoother passage than real lowered curb stones.

The difficulty in the turns with timely directional indication is to signal with one hand while steering with the other hand [17]. Here, only the general execution of an appropriate signal was important, so test subjects could perform the signal in the way that they felt most secure or comfortable. Raising the leg seemed to be much easier than signalling with the hand, which would explain the low error rates.

In general, it should be noted that the subjects were used to driving e-scooters, habituated to the course in the state of soberness, and were fully equipped with a protective gear. Test subjects were aware of the obstacles. Test subjects also knew that there would be a signal they would have to react to right before the alley drive obstacle (days 3 and 4).

With the control group, a learning or exhausting effect could be refuted in the experiment.

Seidl et al. [26] noted that people under the influence of alcohol might classify themselves as fit to drive at a blood alcohol level of even 2.10 g/kg [26]. Our voluntary survey revealed that 16% (10 of 62) had used an e-scooter before under the influence of alcohol. In addition, we were able to show that previous drunk driving experience had no influence on driving performance.

Conclusions

Even low BACs were demonstrated to pose risks when driving an e-scooter in road traffic. At BACs ranging from 0.21 to 0.60 g/kg, a higher risk of driving dangerously was seen. Referring to the mentioned results from the slalom and gate passage, an increased danger for pedestrians can be assumed at a BAC of at least 0.81 g/kg.

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1007/s00414-022-02792-3>.

Acknowledgements We are grateful to the THW Düsseldorf. Without their personal and technical support, the experiment would not have been possible.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL. This research was sponsored by the Bund gegen Alkohol und Drogen im Straßenverkehr e.V. (BADS), Hamburg (40,000 €).

Declarations

Research involving human participants and/or animals This study includes research involving human participants.

The study protocol was approved by the ethics committee of the University Hospital Düsseldorf (study-number: 2019–735). Informed consent was obtained from all test subjects.

Conflict of interest The authors declare no competing interests.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

1. Twisse F, Ribeiro C (2020). Overview of policy relating to e-scooters in European countries. Eltis - The Urban Mobility Observatory. Available from: <https://www.eltis.org/resources/case-studies/overview-policy-relating-e-scooters-european-countries>. [updated 05 August 2020; last access on 05 July 2021]
2. BADS- BUND GEGEN ALKOHOL UND DROGEN IM STRASSENVERKEHR E-Scooter: Dringender Handlungsbedarf nach Alkoholunfällen. Hamburg. Available from: <https://www.bads.de/artikel-pressesprecher/e-scooter-dringender-handlungsbedarf-nach-alkoholunfaellen/>. [last access on 16 June 2021]
3. Kleinertz H, Ntalos D, Hennes F, Nüchtern JV, Frosch K-H, Thiesen DM (2021) Accident mechanisms and injury patterns in E-scooter users. *Dtsch Arztebl Int* 118(8):117–121. <https://doi.org/10.3238/arztebl.m2021.0019>
4. Hartung B, Mindiashvili N, Maatz R, Schwender H, Roth EH, Ritz-Timme S et al (2015) Regarding the fitness to ride a bicycle under the acute influence of alcohol. *Int J Legal Med* 129(3):471–480. <https://doi.org/10.1007/s00414-014-1104-z>
5. Martin TL, Solbeck PA, Mayers DJ, Langille RM, Buczek Y, Pelletier MR (2013) A review of alcohol-impaired driving: the role of blood alcohol concentration and complexity of the driving task. *J Forensic Sci* 58(5):1238–1250. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12227>
6. Garrisson H, Scholey A, Ogden E, Benson S (2021) The effects of alcohol intoxication on cognitive functions critical for driving: a systematic review. *Accid Anal Prev* 154:106052. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106052>
7. Mitchell G, Tsao H, Randell T, Marks J, Mackay P (2019) Impact of electric scooters to a tertiary emergency department: 8-week review after implementation of a scooter share scheme. *Emerg Med Australas* 31(6):930–934. <https://doi.org/10.1111/1742-6723.13356>
8. Glenn J, Bluth M, Christianson M, Pressley J, Taylor A, Macfarlane GS et al (2020) Considering the potential health impacts of electric scooters: an analysis of user reported behaviors in Provo, Utah. *Int J Environ Res Public Health* 17(17):6344. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176344>
9. Nier H (2019). E-Scooter: Eher Vergnügen als Öko-Fortbewegungsmittel. *statista*. Available from: <https://de.statista.com/infografik/18641/einstellung-zu-e-rollern/>. [last access on 05 July 2021]
10. DESTATIS-Statistisches Bundesamt (2021). 2,155 personal injury accidents with e-scooters in 2020. Available from: https://www.destatis.de/EN/Press/2021/03/PE21_N021_462.html. [updated 21 March 2021]
11. DESTATIS-Statistisches Bundesamt (2021). Unfallgeschehen von Elektrokraftfahrzeugen (E-Scooter) 2020. Available from: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehr/Unfaelle/Tabellen/sonderauswertung-unfaelle-e-scooter.html>. [last access on 16 June 2021]
12. Mair O, Wurm M, Müller M, Greve F, Pesch S, Pforringer D et al (2020) E-scooter accidents and their consequences : first prospective analysis of the injury rate and injury patterns in the urban area of a German city with over 1 million residents. *Unfallchirurg*. <https://doi.org/10.1007/s00113-020-00910-7>
13. Badeau A, Carman C, Newman M, Steenblik J, Carlson M, Madsen T (2019) Emergency department visits for electric scooter-related injuries after introduction of an urban rental program. *Am J Emerg Med* 37(8):1531–1533. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.05.003>
14. Störmann P, Klug A, Nau C, Verboket RD, Leiblein M, Müller D et al (2020) Characteristics and injury patterns in electric-scooter related accidents—a prospective two-center report from Germany. *J Clin Med* 9(5):1569. <https://doi.org/10.3390/jcm9051569>
15. Trivedi B, Kesterke MJ, Bhattacharjee R, Weber W, Mynar K, Reddy LV (2019) Craniofacial injuries seen with the introduction of bicycle-share electric scooters in an urban setting. *J Oral Maxillofac Surg* 77(11):2292–2297. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2019.07.014>
16. Uluk D, Lindner T, Palmowski Y, Garritzmann C, Göncz E, Dahne M et al (2020) E-Scooter: erste Erkenntnisse über Unfallursachen und Verletzungsmuster. *Notfall + Rettungsmedizin* 23(4):293–8. <https://doi.org/10.1007/s10049-019-00678-3>
17. Lustenberger T, Talving P, Barmparas G, Schnüriger B, Lam L, Inaba K et al (2010) Skateboard-related injuries: not to be taken lightly. A National Trauma Databank analysis. *J Trauma* 69(4):924–7. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181b9a05a>
18. Ogawa H, Sumi H, Sumi Y, Shimizu K (2011) Glenohumeral dislocations in snowboarding and skiing. *Injury* 42(11):1241–1247. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2010.12.004>
19. Blomberg SNF, Rosenkrantz OCM, Lippert F, Collatz Christensen H (2019) Injury from electric scooters in Copenhagen: a retrospective cohort study. *BMJ Open* 9(12):e033988. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-033988>
20. Sokołowski MM (2020). Laws and policies on electric scooters in the European Union: a ride to the micromobility directive? *European Energy and Environmental Law Review*.
21. Schewe GKH, Schaeufele A, Schuster R (1984) Experimentelle Untersuchungen zur Frage der alkoholbedingten Fahruntüchtigkeit bei Fahrradfahrern. *Blutalkohol* 21:97–109
22. Schewe GSR, Englert L, Ludwig O, Stertmann WA (1980) Experimentelle Untersuchungen zur Frage der alkoholbedingten Fahruntüchtigkeit von Fahrrad- und Mofafahrern. *Blutalkohol* 17:298–328
23. Aderjan R, Daldrup T, Käferstein H, Krause D, Mußhoff F, Paul L et al (2011) Richtlinien zur Bestimmung der Blutalkoholkonzentration (BAK) für forensische Zwecke – BAK-Richtlinien. *Blutalkohol* 48:137–143

25. Penner DW, Coldwell BB (1958) Car driving and alcohol consumption: medical observations on an experiment. *Can Med Assoc J* 79(10):793–800
26. Seidl S, Scheller M, Reinhardt G (1996) Self-assessment of blood alcohol content in acute alcoholic intoxication. *Blutalkohol* 33(1):23–30

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Institut für Rechtsmedizin, Universitätsklinikum Düsseldorf¹⁾
Bundesgerichtshof, Karlsruhe²⁾
Mathematisches Institut, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf³⁾
Institut für Rechtsmedizin, Ludwig-Maximilians-Universität, München⁴⁾*

KATHARINA ZUBE¹⁾, THOMAS DALDRUP¹⁾, RÜDIGER MAATZ²⁾, MICHAEL LAU³⁾, BENNO HARTUNG⁴⁾

Wie wirkt sich Alkoholeinfluss auf die Fahrsicherheit beim Führen eines E-Scooters aus?

Wesentliche Ergebnisse eines Real-Fahrversuchs

How does the influence of alcohol affect driving impairment
when steering an e-scooter?

Main results of a real-driving trial

Einleitung

Wohl kein anderes Verkehrsmittel polarisiert derzeit so stark wie der E-Scooter. Laut einer Studie aus Deutschland werden diese sich zunehmender Verbreitung erfreuenden „Elektrokleinstfahrzeuge“ ganz überwiegend von männlichen Jugendlichen und Erwachsenen bis zu einem Lebensalter von etwa 40 Jahren genutzt, wobei touristische und Freizeit Zwecke im Vordergrund stehen [1].

Berichte über E-Scooter-Vorfälle im alkoholisierten Zustand zeigten bereits kurz nach deren Markteinführung am 15. Juni 2019, dass die geltenden Promillegrenzen nicht allgemein bekannt oder zumindest anerkannt waren [2].

Alkoholeinfluss soll mit etwa 18 % die häufigste Ursache für Unfälle mit Personenschaden sein, wobei im Jahr 2020 insgesamt 2.155 Unfälle mit Personenschaden registriert wurden [3]. Eine eingehendere Analyse dieser E-Scooter-Unfälle aus dem 1. Quartal des Jahres 2020 (N=251, davon 1 tödlich) nahmen Mitarbeiter des DLR-Instituts für Verkehrsforschung vor [4], die die Unfallzahlen pro gefahrene 1 Million Kilometer und pro 1 Million gefahrene Wege analysierten.

In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass aufgrund der Zuordnung von E-Scootern zu den Kraftfahrzeugen die Grenzen zur relativen Fahrunsicherheit und zur Ordnungswidrigkeit in Höhe von 0,30 ‰ bzw. 0,50 ‰ unverändert greifen. Aufgrund dieses neuen Fahrzeugtyps sind für die Rechtsprechung jedoch neue wissenschaftliche Untersuchungen in Bezug auf den BAK-Beweisgrenzwert der absoluten Fahrunsicherheit in Höhe von 1,10 ‰ notwendig, da die Anforderungen zum Führen eines E-Scooters nur sehr bedingt mit dem Führen eines Pkw vergleichbar sind.

Mit finanzieller Unterstützung des Bundes gegen Alkohol und Drogen im Straßenverkehr (BADS) wurden daher praktische Fahrversuche bei unterschiedlichen Blutalkoholkonzentrationen durchgeführt [5], deren wesentliche Ergebnisse hier vorgestellt werden sollen. Bei den Fahrversuchen wurde besonderes Augenmerk auf E-Scooter-spezifische Anforderungen gelegt. Hierzu waren nach Auffassung der Autoren die erhöhten Anforde-

rungen an den Gleichgewichtssinn, der kleine Raddurchmesser mit hoher Wendigkeit und die relative hohe Beschleunigung aufgrund des Elektromotors zu zählen.

In früheren Fahrversuchen etablierte Parcourselemente von SCHEWE et al. [6; 7] und HARTUNG et al. [8–10] wurden daher teilweise übernommen (u. a. Geradeausfahrt auf einer sich verjüngenden Fahrspur, Kreisfahrten, Slalomfahrten, Tordurchfahrten, einfache Gassenfahrt), teilweise wurden neue Elemente ergänzt (Kiesbettdurchfahrt, Schwellenüberfahrten, Abbiegevorgang mit Richtungsanzeige, Beschleunigung mit abruptem Bremsvorgang, Gassenfahrt mit vorangehendem Signal). Die neuen Elemente sollten den E-Scooter-spezifischen Anforderungen gerecht werden.

Bei den begleitenden medizinischen Untersuchungen lag der Fokus auf möglichen Veränderungen des Gleichgewichtssinns. Es wurden daher ein Unterberger-Tretversuch und ein Romberg-Versuch durchgeführt.

Vor Beginn der Studie lag ein positives Votum der Ethikkommission des Universitätsklinikums Düsseldorf vor (Nr.: 2019-735).

Material & Methodik (Details s. [11])

Allgemeines

Die Versuche wurden an 4 verschiedenen Tagen bei verschiedenen Wetter- und Lichtbedingungen durchgeführt. Die Versuche begannen jeweils vormittags (ab ca. 10 Uhr) und dauerten bis in den späten Abend an (bis ca. 20 Uhr).

Versuchsort war ein abgesperrtes, nicht öffentliches Gelände mit asphaltiertem bzw. gepflastertem Boden und einer Ausdehnung von etwa 52 x 18 m.

Vor Versuchsbeginn wurde bei allen Probanden mittels Alco-Tests sowie immunchemischem Screening des Urins auf gängige Drogen die Nüchternheit überprüft. Mittels Erhebungsbogen wurden deren Alkoholgewöhnung (AUDIT) sowie die Erfahrung mit E-Scootern erfragt.

Nach Anlegen der Schutzausrüstung (Jet-Helme, Motorradjacken und -hosen zzgl. Hüft-, Knie- und Handgelenkprotektoren) folgten beliebig viele Probefahrten (mindestens jedoch 3 Runden) zwecks Gewöhnung an das zur Verfügung gestellte Fahrzeug (E-Scooter der Firma Tier, Modell ES 400B, Tier Mobility AG, Berlin, Höchstgeschwindigkeit 20 km/h) und den Parcours und hieran anschließend der erste für die Auswertung gültige Fahrversuch. Danach erfolgte der Alkoholkonsum (Dauer zwischen etwa 2 h 20 min und 4 h 40 min). Die zu konsumierende Alkoholmenge (Auswahl aus einer der folgenden Alkoholsorten: Bier, Rotwein, Weißwein, Vodka, Korn) wurde im Vorfeld mittels der Widmark-Formel so berechnet, dass die BAK einen Wert von maximal ca. 1,30 ‰ erreichen sollte.

Unter Einfluss von Alkohol erfolgten 3–4 weitere Fahrten je Proband. Alle Fahrten wurden zwecks späterer Auswertung der Fahrauffälligkeiten videographiert.

Nach jeder Fahrt wurden neben einer Blutentnahme der Unterberger-Tretversuch sowie der Romberg-Versuch durchgeführt.

Probandinnen und Probanden

Es nahmen insgesamt 57 Alkohol-konsumierende Probanden (28 Frauen, 29 Männer, Altersmedian 29 Jahren) und als Kontrollkollektiv 6 nüchterne Personen (3 Frauen, 3 Männer, Altersmedian 26 Jahren) teil.

Eine Probandin brach die Studie vorzeitig aufgrund eines nicht mit dem Fahren eines E-Scooters assoziierten Unfalls ab; diese wurde durch eine weitere Probandin ins Krankenhaus begleitet, sodass letztlich 55 Alkohol-konsumierende Probanden an allen Versuchen teilnahmen.

Alle Probanden mussten über Erfahrungen mit Alkohol und E-Scootern verfügen und gesund sein; die Gesundheit war mit einem ärztlichen Attest zu belegen.

Parcours

Die Probanden mussten an den 4 Versuchstagen insgesamt 9 Hindernisse passieren (s. Abb. 1). Zunächst erfolgte eine 45 m lange Fahrt auf einer sich verjüngenden Fahrspur. Im Weiteren wurden 8 gegeneinander versetzte Tore und ein 6,90 m langes Kiesbett passiert. Es folgten 3 1/2 Kreisdurchfahrten, 3 Abbiegevorgänge mit Richtungsanzeige mit den Beinen, eine Fahrt über drei gegeneinander versetzte Schwellen, eine Gassendurchfahrt, eine Slalomfahrt um in immer geringer werdenden Abständen aufgestellte Hütchen und eine Beschleunigungsfahrt mit abruptem Bremsen auf einer vorgegebenen Linie.

An den Versuchstagen 3 und 4 wurden 2 Elemente geringfügig geändert: Die Beschleunigungsstrecke wurde von 17,70 m auf 16,50 m verkürzt und bei der Gassendurchfahrt wurde ein Lichtzeichen installiert, welches erst unmittelbar vor Erreichen der Durchfahrt signalisierte, welche der beiden Gassen benutzt werden durfte. Ferner mussten die Probanden an den Versuchstagen drei und vier 6 der oben genannten 9 Elemente bei jeder Fahrt ein zweites Mal durchfahren, um Konzentrationseinbußen bzw. Erschöpfungseffekte bei längeren Fahrten besser beurteilen zu können.

Eine Durchfahrt der 9 Hindernisse dauerte im Schnitt etwa 1,5 min.

Vor jeder Fahrt wurde den Probanden außerdem ein dreisilbiges Wort genannt, das am Ende der Fahrt abgefragt wurde.

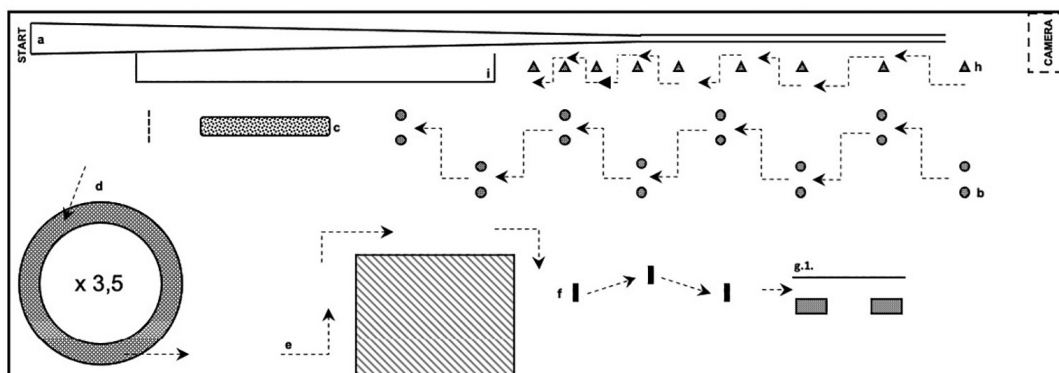


Abb. 1: Skizze des Parcours; a = Startpunkt mit Geradeausfahrt auf einer sich verjüngenden Fahrspur, b = gegeneinander versetzte Tore, c = Kiesbett, d = Kreisdurchfahrten, e = Abbiegevorgänge, f = gegeneinander versetzte Schwellen, g = Gassendurchfahrt, h = Slalomfahrt, i = Beschleunigungsstrecke.

Toxikologische Untersuchungen

Die Bestimmung der BAK erfolgte mit dem gemäß den Richtlinien für die forensische Blutalkoholbestimmung [12] im Institut für Rechtsmedizin Düsseldorf eingesetzten Routineverfahren. Die Untersuchung der Urinproben auf Drogen erfolgte unmittelbar vor Versuchsbeginn mit einem immunochemischen Testverfahren. Zusätzlich wurden die Nüchtern-Blutproben mittels eines am Institut für Rechtsmedizin Düsseldorf etablierten Routine-Screeningverfahrens unter Verwendung einer Kombination HPLC-PDA-MS der Firma Waters auf über 200 Arzneimittelwirkstoffe und verwandte Verbindungen geprüft.

Fahrauffälligkeiten und statistische Auswertung

Jede Fahrauffälligkeit wurde einer vorher festgelegten Zahl (Fehlerpunkt) zugeordnet. Außerdem wurde zwischen koordinativen und kognitiven Fehlern unterschieden. Die beiden medizinischen Versuche (Unterberger-Tretversuch und Romberg-Versuch) wurden separat ausgewertet.

Je relevanter eine Fahrauffälligkeit für die Verkehrssicherheit erschien, desto mehr Fehlerpunkte wurden zugeordnet. Beispielhaft seien hier einzelne Fehlerpunkte aus dem Bereich der koordinativen Fahrauffälligkeiten aufgeführt: Das Berühren einer Begrenzungslinie (z. B. bei der Geradeausfahrt oder während der Kreisfahrten) wurde mit 1 Fehlerpunkt versehen, das Überfahren der Linie mit einem Rad mit 2 Fehlerpunkten und das Auslassen eines Tores bei der Tordurchfahrt mit 3 Fehlerpunkten.

Es wurden grundsätzlich die addierten Fehlerpunkte je Fahrt analysiert. Die addierten Fehlerpunkte je Hindernis bildeten den „error score“. Die addierten Fehlerpunkte aller unveränderten Hindernisse bildeten den „absolute score“. Die individuelle Fahrleistung wurde berechnet, indem die Ergebnisse der jeweiligen Fahrt unter Alkoholeinfluss mit den Ergebnissen der Nüchternfahrt (mit allen Probanden als Kontrollkollektiv) verglichen wurde, was die „individual driving performance“ darstellte.

Ergebnisse (Details s. [11])

Ergebnisse der toxikologischen Untersuchungen

Die maximal erreichten Blutalkoholkonzentrationen (BAK) der Alkohol-konsumierenden Probanden lagen im Bereich von 0,54 bis 1,70 ‰ (Median 1,16 ‰). Konkrete Hinweise auf einen Konsum anderer berauschender Mittel durch Versuchsteilnehmer oder -teilnehmerinnen haben sich nach dem Ergebnis der umfangreichen Screening-Analysen nicht ergeben.

Ergebnisse der praktischen Fahrversuche

Fehlerpunkte („error score“)

Besonders die Kreisfahrten, die Tordurchfahrt, die Slalomfahrt um die Hütchen und die Geradeausfahrt auf der sich verjüngenden Fahrspur zeigten höhere Fehlerpunkte bei zunehmenden BAK.

Signifikante Erhöhungen (p-Wert: <0,01, vgl. Tab. 1) der Fehlerpunktzahlen fanden sich bei den Kreisfahrten bereits bei den Versuchen mit einer BAK oberhalb von 0,40 ‰; bei der Tordurchfahrt und der Slalomfahrt um die Hütchen zeigte sich dies erst bei höheren Alkoholisierungsgraden (Bereiche ab 0,81 ‰) und bei der Geradeausfahrt auf der sich verjüngenden Fahrspur sogar erst ab dem Bereich 1,01–1,20 ‰.

BAK	0 vs. [0.21–0.40]	0 vs. [0.41–0.60]	0 vs. [0.61–0.80]	0 vs. [0.81–1.00]	0 vs. [1.01–1.20]	0 vs. [1.21–1.40]
Anzahl Probanden	10	36	40	38	37	25
Kreisfahrt	0.06	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Slalom	0.02	0.18	0.61	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Tordurch-fahrt	0.81	0.69	0.37	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Verjüngende Fahrspur	0.50	0.01	0.12	0.19	< 0.01	< 0.01

Tab. 1: p-Werte der Fehlerpunktzahlen im Vergleich von alkoholisiertem Zustand und nüchternem Zustand. Die Vergleiche der BAK-Bereiche 0 vs. [0.01–0.20], 0 vs. [1.41–1.60] und 0 vs. [1.61–1.80] sind aufgrund der geringen Anzahl an Beobachtungen (N = 1 bis 5) in diesen Bereichen nicht aufgeführt.

Individuelle Fahrleistung („individual driving performance“)

Bereits im BAK-Bereich um 0,30 ‰ (0,21–0,40 ‰) lag eine statistisch signifikante Abnahme der individuellen Fahrleistung um etwa 40 % vor. Es folgte sukzessiv eine weitere, wenn auch deutlich langsamere Abnahme der Fahrleistung, die im BAK-Bereich um 0,90 ‰ (0,81–1,00 ‰) schließlich um etwa 62 % gefallen war. Im BAK-Bereich um 1,10 ‰ (1,01–1,20 ‰) lag eine Abnahme um 72 % vor (Abb. 2).

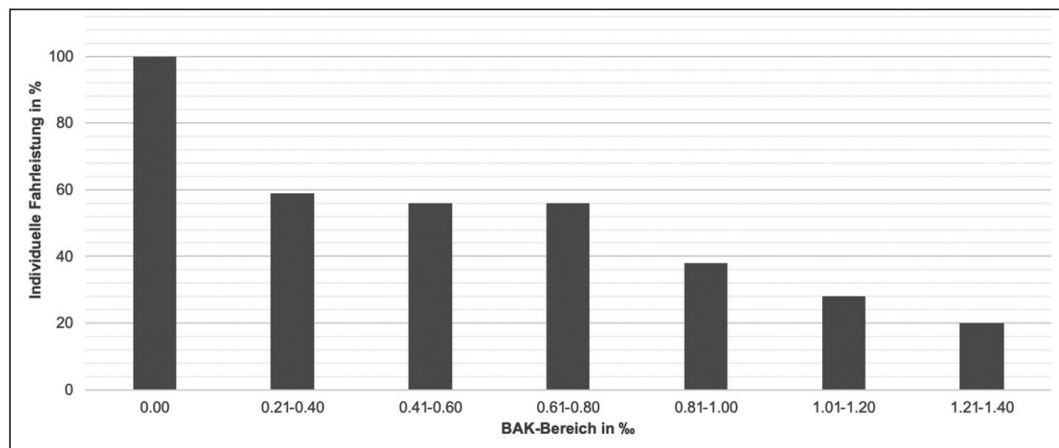


Abb. 2: Individuelle Fahrleistung bei den verschiedenen BAK-Bereichen in ‰ (x-Achse: BAK-Bereich; y-Achse: BAK in ‰; Die BAK-Bereiche 0 vs. [0.01–0.20], 0 vs. [1.41–1.60] und 0 vs. [1.61–1.80] sind aufgrund der geringen Anzahl an Beobachtungen (1 bis 5 Beobachtungen) in diesen Bereichen nicht aufgeführt.

Diskussion

Durch die Fahrversuche konnte gezeigt werden, dass bereits eine vergleichsweise geringe Alkoholisierung mit deutlich schlechteren individuellen Fahrleistungen als im Nüchternzustand einhergeht. Die hier untersuchten Probandinnen und Probanden können dabei als repräsentativ für die Gruppe typischer E-Scooter-Nutzer angesehen werden [1].

Bemerkenswert war, dass die Testabschnitte (Hindernisse) bei unterschiedlichen BAK-Bereichen zu den statistisch signifikanten Fehlerzunahmen führten. Dies betraf nicht nur Kreisfahrten, sondern auch das gegeneinander versetzte Fahren („Umkurven“), Slalomfahrten („belebter Bürgersteig“) und seitlich beengte Fahrten geradeaus. Die in den Parcours eingebauten Hindernisse lassen sich daher nach unserer Meinung recht gut auf Situationen im realen Straßenverkehr bei Begegnungen eines E-Scooters u. a. mit Fußgängern und Fahrradfahrern übertragen.

Für alkoholisierte Nutzerinnen und Nutzer von E-Scootern bedeuten die Ergebnisse dieses Versuchs, dass bereits nach geringem Alkoholkonsum von ihnen ein höheres Unfallrisiko ausgeht und sie sich gegebenenfalls strafrechtlich verantworten müssen.

Die erhebliche Abnahme der Fahrleistung zeigt dabei deutlich, dass die Nutzung eines E-Scooters höhere Anforderungen an den Lenker stellt als an den Lenker eines Fahrrades, wo die individuelle Fahrleistung bei zunehmender Alkoholisierung deutlich langsamer abfällt [8].

In diesem Zusammenhang muss auch auf die von GEBHARDT und HEINRICH [4] durchgeführten Analysen hingewiesen werden. Denn zunächst scheinen die im Untersuchungszeitraum (1. Quartal 2020) registrierten Fahrradunfälle mit Personenschaden (N = 12.727, davon 52 tödlich) als Fokus für Verkehrssicherheitsmaßnahmen klar relevanter als E-Scooter-Unfälle (N = 251, davon 1 tödlich). Wenn man jedoch die Unfallzahlen pro 1 Million Wege oder pro 1 Million gefahren Kilometer betrachtet, ergibt sich ein gänzlich anderes Bild, bei dem auf dem E-Scooter doppelt so viele (pro 1 Mio. Wege) bzw. ca. 4,5 Mal so viele (pro 1 Mio. km) Unfälle mit Verletzten festzustellen waren als im Vergleich zu Fahrradunfällen.

Zusammenfassend kann somit festgehalten werden, dass bereits geringe BAK mit Risiken für die Fahrsicherheit einhergehen.

Limitationen

Alle Fahrversuchsergebnisse müssen vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass eine Testsituation vorlag, derer sich die Probandinnen und Probanden bewusst waren und in der ein Verletzungsrisiko durch das Tragen einer nahezu vollständigen Schutzausrüstung weitestgehend minimiert war.

Zusammenfassung

Es werden die wesentlichen Ergebnisse der ersten Studie zu Realfahrten unter Alkoholeinfluss vorgestellt. Es zeigte sich eine signifikante Erhöhung der Fehlerpunkte („*error score*“) bei den Hindernissen Kreisfahrten, Tordurchfahrt, Slalomfahrt und Geradeausfahrt auf einer sich verjüngenden Fahrspur in BAK-Bereichen von 0,41–0,60 ‰ bis 1,01–1,20 ‰. Gleichzeitig nahm die individuelle Fahrleistung („*individual driving performance*“) bereits bei niedrigen Blutalkoholkonzentrationen (BAK) deutlich ab. Im Bereich um 1,10 ‰ (1,01–1,20 ‰) lag schließlich eine Abnahme der individuellen Fahrleistung um 72 % vor. Es gehen bereits niedrige BAK mit Risiken für die Fahrsicherheit einher. Für die Nutzerinnen und Nutzer von E-Scootern ergibt sich insbesondere das Risiko einer „relativen Fahrunsicherheit“ bei vergleichsweise niedrigen BAK.

Schlüsselwörter

Alkohol – Grenzwert – Fahrsicherheit – E-Scooter

Summary

The main results of the first real-driving study under the influence of alcohol are presented. There was a significant increase in error scores for the obstacles of driving in circles, gate passages, slalom ride and driving straight ahead on a narrowing track at blood alcohol concentrations (BAC) in ranges between 0.41–0.60 g/kg and 1.01–1.20 g/kg. At the same time, the individual driving performance decreased significantly even at low BAC. Finally, in the range around 1.10 g/kg (1.01–1.20 g/kg), there was a 72 % decrease in individual driving performance. Even low BAC are associated with risks to driving impairment. For users of e-scooters, there is a particular risk of “relative driving impairment” at comparatively low BAC.

Keywords

Alcohol – threshold value – driving impairment – e-scooter

Literatur

1. Gehlert T (2021) Unfallforschung kompakt Nr. 110: Verkehrssicherheit von E-Scootern. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft. <https://udv.de/de/node/56823> (letzter Zugriff: 05.01.2022).
2. Winkler C, Eppler M, Graw M, Helmreich C (2020). Alkoholfahrten mit dem E-Scooter. Erste Fälle am Institut für Rechtsmedizin München zwischen Juni und August 2019. *Blutalkohol* 57:141–145.
3. Destatis - Statistisches Bundesamt (2021) 2155 E-Scooter-Unfälle mit Personenschaden im Jahr 2020. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/03/PD21_N021_462.html (letzter Zugriff: 05.01.2022).
4. Gebhardt L, Heinrichs M (2021) Erste Unfallbilanz für E-Scooter – Was sagen die Zahlen über ihre Sicherheit aus? Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2020/03/20200728_erste-unfallbilanz-fuer-e-scooter.html (letzter Zugriff: 05.01.2022).
5. Bund gegen Alkohol und Drogen im Straßenverkehr (2019) E-Scooter: Dringender Handlungsbedarf nach Alkoholunfällen. <https://www.bads.de/artikel-pressesprecher/e-scooter-dringender-handlungsbedarf-nach-alkoholunfaellen/> (letzter Zugriff: 05.01.2022).
6. Schewe G KH, Schaeufele A, Schuster R (1984). Experimentelle Untersuchungen zur Frage der alkoholbedingten Fahruntüchtigkeit bei Fahrradfahrern. *Blutalkohol*; 21:97–109.
7. Schewe G SR, Englert L, Ludwig O, Stertmann WA (1980). Experimentelle Untersuchungen zur Frage der alkoholbedingten Fahruntüchtigkeit von Fahrrad- und Mofafahrern. *Blutalkohol* 17:298–328.
8. Hartung B, Mindiashvili N, Maatz R, Schwender H, Roth EH, Ritz-Timme S, Moody J, Malczyk A, Daldrup T: Regarding the fitness to ride a bicycle under the acute influence of alcohol. *Int J Legal Med* (2015) 129(3):471–480.
9. Hartung B, Schwender H, Mindiashvili N, Ritz-Timme S, Malczyk A, Daldrup T: The effect of alcohol hangover on the ability to ride a bicycle. *Int J Legal Med* (2015) 129(4):751–8.
10. Hartung B, Schwender H, Roth EH, Hellen F, Mindiashvili N, Rickert A, Ritz-Timme S, Grieser A, Monticelli F, Daldrup T: The effect of cannabis on regular cannabis consumers' ability to ride a bicycle. *Int J Legal Med* (2016) 130(3):783–785.
11. Zube K, Daldrup T, Lau M, Maatz R, Tank A, Steiner I, Schwender H, Hartung B (2022) E-scooter driving under the acute influence of alcohol – a real-driving safety study. *Int J Legal Med* (2022) DOI: 10. 1007/s00414-022-02792-3.
12. Aderjan R, Daldrup T, Käferstein H, Krause D, Mußhoff F, Paul LD, Peters F, Rochholz G, Schmitt G, Skopp G (2011). Richtlinien zur Bestimmung der Blutalkoholkonzentration (BAK) für forensische Zwecke – BAK-Richtlinien. *Blutalkohol*; 48:137–43.

Danksagung

Die Studie wurde vom Bund gegen Alkohol und Drogen im Straßenverkehr (BADS) unterstützt. Ohne diese Unterstützung wäre die Studie nicht durchführbar gewesen.

Anschrift für die Verfasser

Prof. Dr. med. Benno Hartung
Institut für Rechtsmedizin
Ludwig-Maximilians-Universität München
Nußbaumstr. 26
80336 München
E-Mail: benno.hartung@med.uni-muenchen.de



The “Mellanby effect” in alcoholised e-scooter drivers

Katharina Zube¹ · Michael Lau² · Thomas Daldrup¹ · Gina Maria Bruch³ · Anne Tank¹ · Benno Hartung³

Received: 14 October 2022 / Accepted: 15 November 2022 / Published online: 28 November 2022
© The Author(s) 2022

Abstract

Purpose Several studies tried to discuss and clarify the so-called Mellanby effect: Similar blood alcohol concentrations (BACs) supposedly lead to more signs of impairment in the phase of alcohol resorption than elimination. To assess this effect for alcoholised e-scooter driving, results of a real-driving fitness study were subanalysed.

Methods Sixteen subjects (9 females; 7 males) who completed runs at comparable BACs in the phases of alcohol resorption and elimination were chosen to assess a possible “Mellanby effect”. The data of the subjects was taken from a prior e-scooter study by Zube et al., which included 63 subjects in total.

Results In the phase of alcohol resorption, the relative driving performance was approx. 92% of the phase of elimination (p value 0.21).

Statistically significant more demerits were allocated to the obstacle “narrowing track” in the phase of resorption than elimination.

Subjects also needed significantly more time to pass the obstacles “narrowing track”, “driving in circles counterclockwise” and “thresholds” in the phase of resorption than elimination.

Discussion The most relevant obstacle to discriminate between the two different states of alcoholisation was the narrowing track. Insofar, measurements of the standard deviation of the lateral position (SDLP) might also be a sensitive component for the detection of central nervous driving impairment during shorter trips with an e-scooter.

Additionally, driving slower during the phase of alcohol resorption seems to be the attempt to compensate alcohol-related deficits.

Conclusion The results of the study suggest a slight Mellanby effect in e-scooter drivers.

Keywords Mellanby effect · E-scooter · Alcohol · Resorption · Elimination · Matched pairs

Introduction

A peculiarity of alcohol (ethanol) is the comparatively stable relationship between dose and effects. With increasing blood alcohol concentrations (BACs), the magnitude of impairment increases [1, 2]. Nevertheless, with regard to road traffic, interindividual differences at similar BACs have repeatedly been described [3, 4].

Whether alcohol-related impairments are observable or not regularly depends on the complexity of the driving task [1]. In general, driving with a BAC of around 0.50 g/l increases the relative probability for single vehicle accidents by factor 2 [3]. Performance differences in comparable situations are often explainable by different states of alcohol habituation.

Besides habituation, several variables can directly or indirectly influence the driving-related effects of alcohol resp. the BAC. For example, the driver's age is associated with different crash risks, which is likely linked to more increased alcohol-impaired crash avoidance skills in young drivers and risk-taking personality traits [5]. Similar BACs may provoke different levels of impairment at different times of the day as the circadian rhythm interferes [6, 7]. The ethanol elimination rate is usually (slightly) higher in women than in men [8, 9]. The state of alcohol hangover may also be associated

✉ Benno Hartung
benno.hartung@med.uni-muenchen.de

¹ Institute of Legal Medicine, University Hospital Düsseldorf, Düsseldorf, Germany

² Institute of Mathematics, Heinrich Heine University, Düsseldorf, Germany

³ Institute of Legal Medicine, Ludwig Maximilians University, Munich, Germany

with significantly impaired performances even if the BAC has returned to zero [10, 11].

A comparable BAC supposedly leads to more signs of impairment in the phase of alcohol resorption than in the phase of alcohol elimination. In other words, the BAC supposedly lags behind the alcohol effect. This observation is called “Mellanby effect”, since Sir Edward Mellanby was the first to describe it [12]. Mellanby carried out his experiments on dogs at the time, and he could therefore only assess gross motor abnormalities. The evidence for Mellanby effect is still under discussion, and driving safety skills might be more affected in the phase of alcohol elimination [13].

The presented work should clarify the question whether a Mellanby effect is evident in alcoholised e-scooter drivers. Results of a previously published study [14] were therefore re-analysed. As repeated e-scooter runs at different BACs were performed, several test persons completed the course with comparable BACs in the phase of alcohol resorption and alcohol elimination.

Material and methods (for details, see [14]).

Test persons

Sixty-three healthy subjects, who were experienced in driving an e-scooter participated in the study (31 females, 32 males). Six subjects (3 females, 3 males) remained sober during the whole trial and served as control group. Two female test persons dropped out during the trial.

The test persons’ state of alcohol and drug soberness were checked at the beginning of each test day by breath-alcohol analyses and immunochemical screening of the urine.

Questionnaires were used to assess alcohol experience (AUDIT) and e-scooter experience.

For these re-analyses, matched pairs (e-scooter runs with comparable BACs with a maximum difference of 0.20 g/kg between the phase of alcohol resorption and elimination) were found in 16 alcohol-consuming test persons (9 females, 7 males) in the age range of 18 to 47 (median 24 years) (see below “Statistical analyses to evaluate a possible “Mellanby effect””).

E-scooter runs and neurological examinations

Each of the 4 test days started at 10 a.m. and lasted until approx. 8 p.m.

The course was built on a non-public area (52 m × 18 m).

After accommodation to course and e-scooters (Tier, Modell ES 400B, Tier Mobility AG, Berlin), the sober run, which served as baseline, was performed.

Afterwards, alcohol consumption started (duration between approx. 2 h 22 min and 4 h 41 min). The amount of alcohol to be consumed was calculated in advance using the Widmark formula [15] in such a way that the BAC should reach a maximum value of approx. 1.30 g/kg.

Under the influence of alcohol, 3–4 runs were completed by each test person. All runs were videotaped for the purpose of later evaluation.

After each run, blood samples were taken.

Course

Nine obstacles had to be passed that can be seen in Fig. 1 (in chronologic order: narrowing track (45-m length); gate passage (spaced at 1.30 m); gravel bed of 6.90-m length; driving in circles counterclockwise 3.5 times; three turns with timely indication of the direction (left-right-left); three thresholds; VII.i.: alley drive; VIII: slalom ride; IX: speed track)

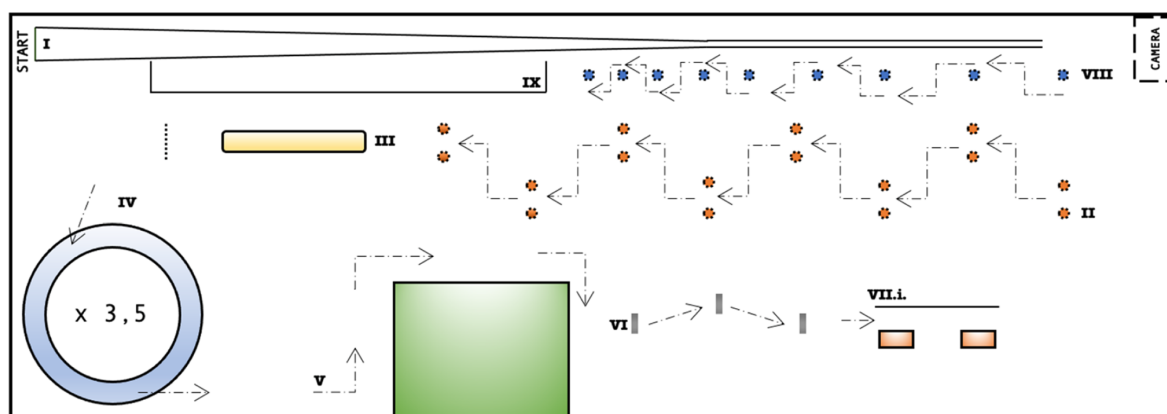


Fig. 1 Course I: narrowing track; II: gate passage; III: gravel bed; IV: driving in circles counterclockwise; V: three turns with timely directional indication; VI: three thresholds; VII.i.: alley drive; VIII: slalom ride; IX: speed track) [14]

alley drive (width: 1.05 m; length 5.55 m); slalom ride with decreased spacing (2 x 4 m; 2 x 3 m; 2 x 2 m; 1 x 1.5 m); speed track (17.7 m resp. 16.5 m)).

Two elements were slightly modified after the trial had already started: The speed track was shortened from 17.70 to 16.50 m, and a light signal was installed at the alley drive, which signaled the lane to be used. Furthermore, some subjects were asked to pass 6 of the abovementioned 9 elements a second time on each trip to better assess concentration losses or exhaustion effects during longer trips. Only the first passage was taken into account for further analyses.

A run through the 9 obstacles lasted on average about 1.5 min.

Allocated demerits

Demerits were allocated for distinctive driving (coordinative or cognitive) features. Driving and medical features were evaluated separately.

More demerits were allocated for features that were considered more relevant to road traffic. For example, touching a boundary line (e.g. when driving straight ahead or during driving in circles) was allocated 1 demerit, crossing the line with one wheel was allocated 2 demerits and skipping a gate during gate passage was allocated 3 demerits.

Statistical analyses to evaluate a possible “Mellanby effect”

BAC differences were set to a maximum of 0.20 g/kg between a test person’s run in the phase of alcohol resorption and alcohol elimination.

Persons were supposed to reach a maximum BAC of 1.30 g/kg. The alcohol to be consumed was calculated by the formula of Widmark [15].

To fulfill the demand of alcohol resorption, test persons were either still drinking alcohol or the termination of alcohol consumption was not longer than 60 min ago.

To fulfill the demand of alcohol elimination, test persons had finished alcohol consumption at least 90 min ago.

Basically, the added demerits per run were evaluated.

The added demerits per obstacle formed the “error score”.

The added demerits of all unchanged obstacles (I, II, III, IV, V, VI, VIII) formed the “absolute score”. If obstacles had to be passed twice, only the first passage of each obstacle during each run was included.

The “individual score” was calculated by comparing the results of the respective run under the influence of alcohol with the results of the sober run (with all test persons as control group). Subjects with an absolute score of zero points received one point to enable the calculations of all individual scores.

An “influence score” (*relative driving performance in different states of alcohol influence*) was determined by dividing the error score of the alcohol elimination phase by the error score of the phase of alcohol resorption.

The result of a statistical test was considered significant if the p value was less than 0.05.

Results

Sixteen test persons (9 females; 7 males) aged from 18 to 47 years (median 24 years) were included in the analyses.

All 16 persons fulfilled the demand of alcohol resorption: Eleven test persons were still drinking alcohol, and 5 test persons had finished alcohol consumption no longer than 60 min before the run.

In the phase of alcohol elimination, the assessed 16 test persons had finished alcohol consumption between 90 and 187 min (median: 137 min) before the blood draw.

The average time interval between the run and the blood draw was approx. 9 min (range: approx. 1–15 min) in the phase of alcohol resorption and approx. 12:30 min (range: approx. 7–26 min) in the phase of alcohol elimination.

The average BAC in the phase of alcohol resorption was 0.80 g/kg (Fig. 2a; median 0.71 g/kg; range 0.48–1.34 g/kg).

The average BAC in the phase of alcohol elimination was 0.84 g/kg (Fig. 2b; median 0.79 g/kg; range 0.50–1.30 g/kg).

Analyses of the sober control group revealed no hints for an improvement (e.g. due to habituation) or worsening (e.g. due to fatigue) during the trial [14].

Worse relative driving performances in the phase of alcohol resorption were seen despite of lower BACs in this phase (Fig. 3; median difference 0.1 g/kg).

Figure 4 shows the lower relative driving performance in the phase of alcohol resorption in comparison to the phase of alcohol elimination ($p = 0.21$; median 92.3%). This effect is independent from the BAC level ($p = 0.24$). The results were markedly influenced by a single test person (BAC resorption 0.65 g/kg, BAC elimination 0.69 g/kg), who received 3 demerits for his run during alcohol resorption and 8 demerits for his run during alcohol elimination.

Isolated evaluation for individual obstacles were carried out with regard to differences in allocated demerits and differences in times needed to pass the respective obstacle.

Figures 5 and 6 show the of all allocated demerits for each obstacle and the differences in time needed to pass them. Allocated demerits were statistically significantly higher in the phase of alcohol resorption for the obstacle “narrowing track” ($p = 0.04$) only (Fig. 5). In addition, the times for passing the obstacles narrowing track ($p = 0.03$), “driving in circles counterclockwise” (“roundabout”) ($p = < 0.01$) and “thresholds” ($p = 0.03$) were significantly increased (Fig. 6).

Fig. 2 **a** Distribution of BAC of the 16 test persons in the phase of alcohol resorption (x-axis: test persons; y-axis: BAC in g/kg). **b** Distribution of BAC of the 16 test persons in the phase of alcohol elimination (x-axis: test persons; y-axis: BAC in g/kg)

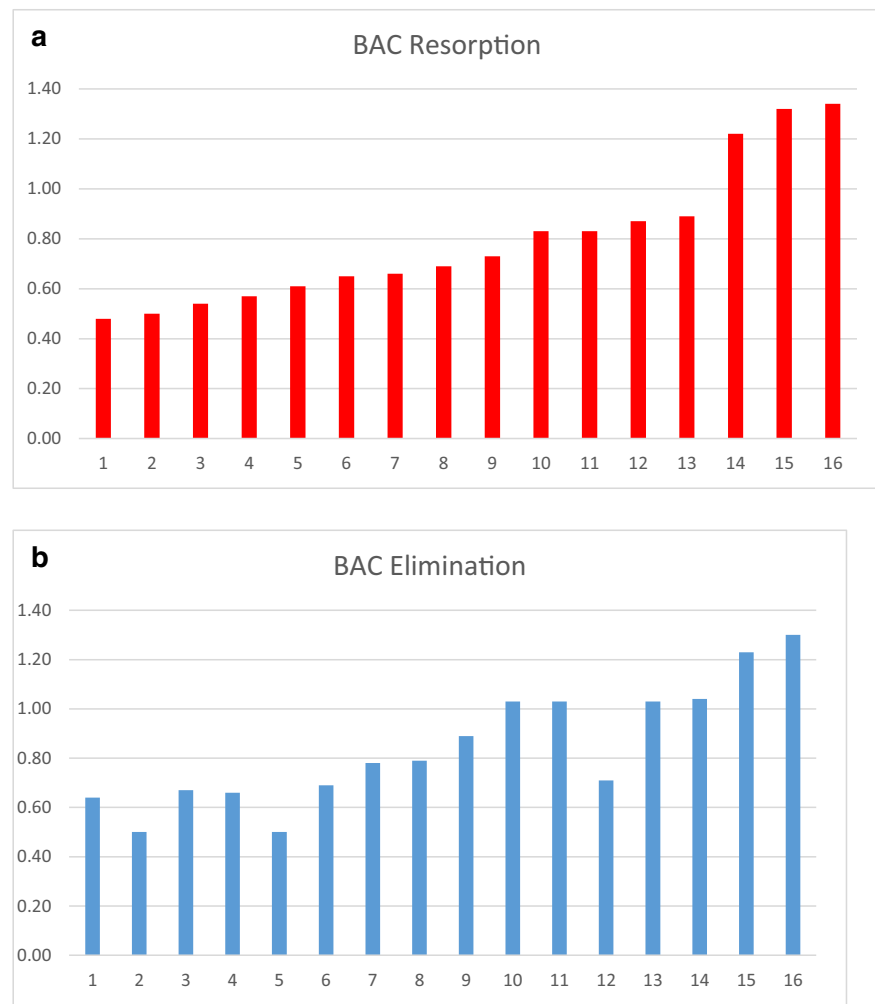


Fig. 3 Median BAC difference between the runs in the phase of alcohol resorption and alcohol elimination. Results below 0 indicate a lower BAC in the phase of alcohol resorption. Box contains 50% of the tested persons, the line inside the box indicates the respective median, and the satellites indicate 25% of the tested persons

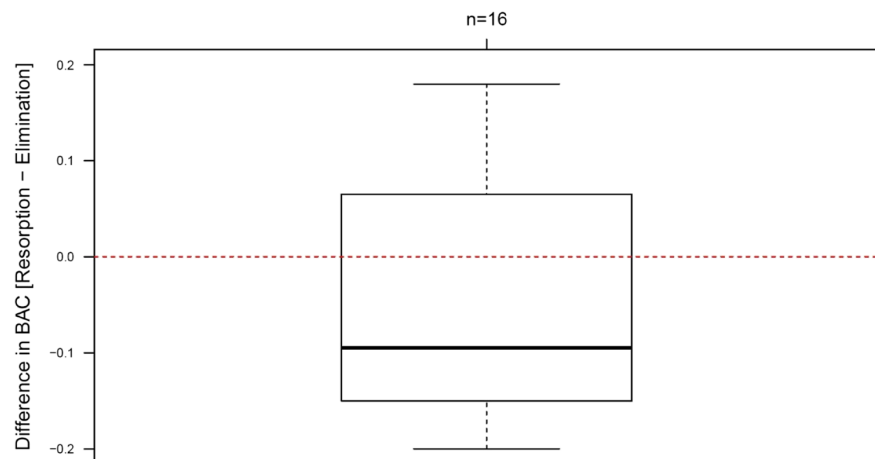


Fig. 4 Relative driving performance in different states of alcoholisation (influence score). Results below 100% indicate a lower driving performance in the phase of alcohol resorption

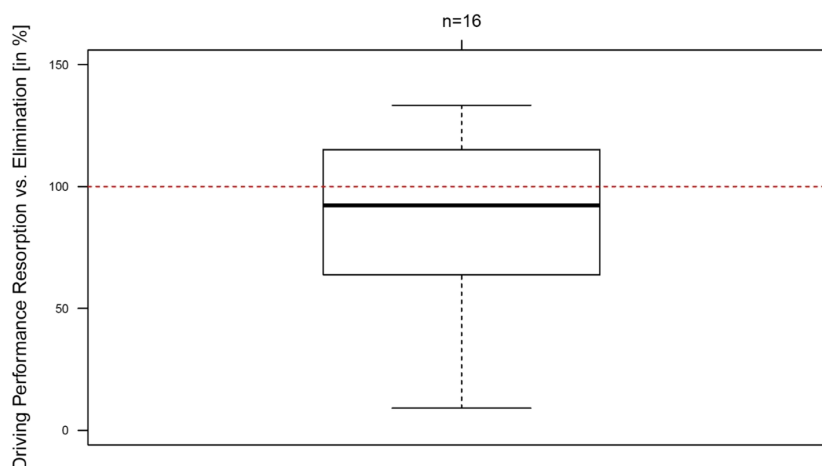
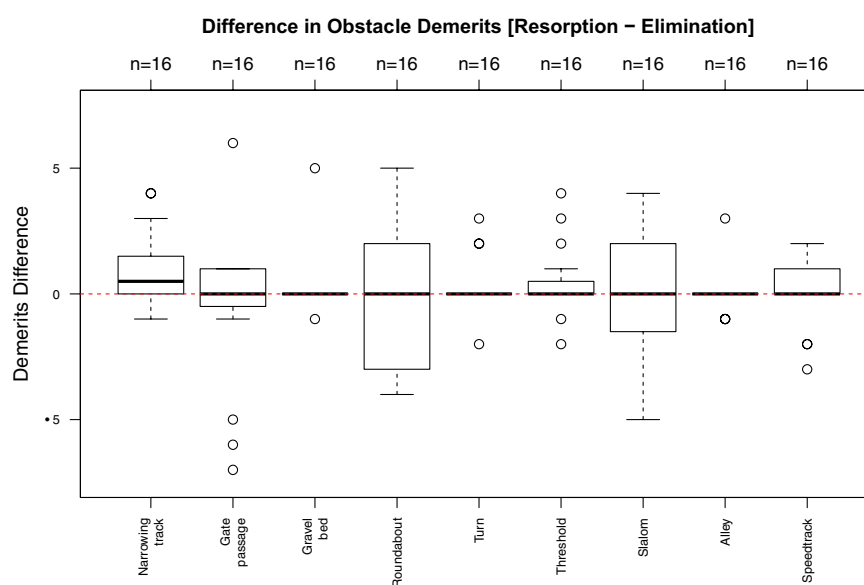


Fig. 5 Differences (alcohol resorption vs. alcohol elimination) in allocated demerits (y-axis) for each obstacle (x-axis). Values above 0 indicate more allocated demerits in the phase of alcohol resorption. Only at the narrowing track the test persons had significantly more demerits in the resorption than elimination phase ($p=0.04$) (gate passage: $p=0.43$; gravel bed: $p=0.29$; driving in circles counterclockwise (roundabout): $p=0.23$; turns $p=0.23$; thresholds: $p=0.15$; slalom: $p=0.57$; alley: $p=0.77$; speedtrack: $p=0.45$)



Discussion

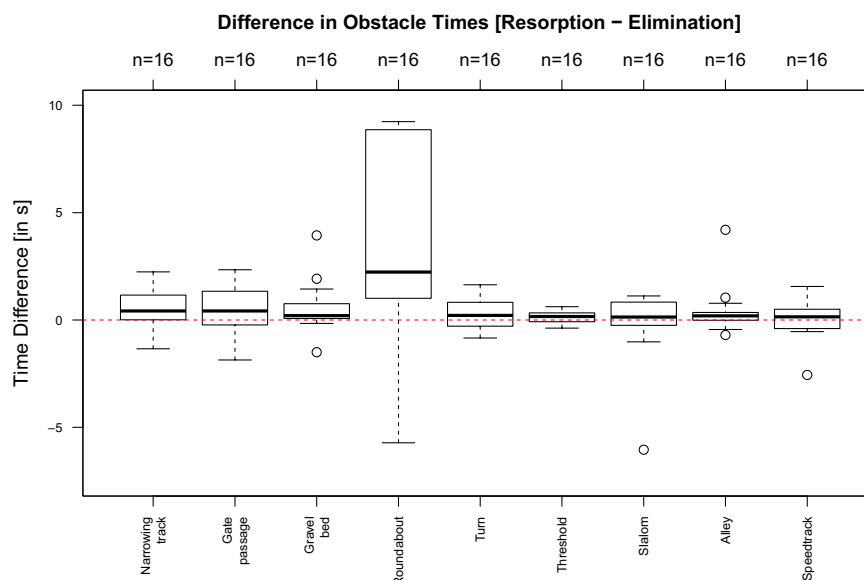
The Mellanby effect was examined under the contemplation of data from an e-scooter real driving test.

With a comparable BAC, there seems to be more impairment in the alcohol resorption phase than in the alcohol elimination phase. In their systematic review of this so-called Mellanby effect, Holland and Ferner concluded that test persons feel less drunk and are more willing to drive under the influence of alcohol when their BAC curve is on the declining branch. However, measures of traffic relevant skills seem to be worse in the elimination phase when BAC decreases [13].

The presented data indicate a possible Mellanby effect when driving an e-scooter. Interestingly, the most relevant obstacle to discriminate between the two different phases of alcohol consumption was the narrowing track. When considering all runs of all 63 test persons, performance on the narrowing track was significantly decreased from 1.01 g/kg [14]. This can be interpreted as a hint for the assumption that the standard deviation of the lateral position (SDLP) is also a sensitive component for the detection of central nervous driving impairment during shorter trips [16, 17].

When looking at the time needed to pass the obstacles, more obstacles were significantly conspicuous. When considering all runs again, an increased time to pass the

Fig. 6 Differences (alcohol resorption vs. alcohol elimination) in the times needed to pass the obstacles in seconds (y-axis) for each obstacle (x-axis). Values above 0 indicate longer periods of time in the phase of alcohol resorption. At the obstacles narrowing track ($p=0.03$), driving in circles counterclockwise (roundabout) ($p<0.01$) and thresholds ($p=0.03$) test persons needed significantly more time to pass the obstacle in the resorption than elimination phase (gate passage: $p=0.08$; gravel bed: $p=0.05$; turns $p=0.05$; slalom: $p=0.59$; alley: $p=0.07$; speedtrack: $p=0.60$)



obstacles narrowing track and driving in circles counterclockwise was significantly associated with more demerits in the course. The increased time to pass the thresholds in the state of alcohol resorption should be interpreted with caution as only few error points were obtained [14].

The presented subanalyses regarding time differences may be explained by the attempt to compensate self-recognized alcohol-related impairments.

Goldberg assumed a similar effect of alcohol on the motoric and sensor system, and psyche. He concluded that complex actions are appropriate to distinguish between the effects of alcohol resorption and elimination [18, 19]. The course which needed to be completed posed various challenges to the sense of balance, motoric skills and the need of high comprehension. The course can be considered as a complex task.

The presented data must be seen in the light of slightly higher BACs during elimination (median 0.1 g/kg), which likely weakened the Mellanby effect. As blood was drawn after each run, the BACs while driving must have been even lower during the phase of alcohol resorption, and even higher during the phase of alcohol elimination, which further weakens the effect.

From a toxicological point of view, it is easily understandable that fast BAC changes lead to more signs of failure than slow BAC changes: It was previously theorized that due to the strong blood flow to the brain, the central nervous effects of alcohol become apparent early [19, 20]. Our study design leaned towards a “realistic drinking event” (between 2:22 and 4:41 h to reach approx. 1.30 g/kg). Binge drinking with the most obvious central nervous effects was not examined [13, 19].

Holland and Ferner discussed common problems which make the studies of the Mellanby effect challenging: Most groups were rather small and consisted of young white men [13]. Our study included a greater range of ages and a vaguely similar proportion of women and men. Nevertheless, 16 subjects represent a rather small group, too.

Finally, we do not wish to ignore that the test persons drove under obvious test conditions. Already *Bschor* mentioned the problem of “spontaneous impulses” (sudden increase in concentration leads to a better performance) [19]. The subjects went through the course several times and were aware of completing the course as safely and fast as possible. So, the effect of spontaneous impulses cannot be excluded.

Conclusion

First: The results of the presented study suggest a slight Mellanby effect in e-scooter drivers.

Second: Distinctive features may differ at similar BACs depending on the point of time the alcohol was consumed. In test situations, especially lower speed seems to be correlated to the phase of alcohol resorption. The termination of alcohol consumption should be taken into account for individual evaluation.

Third: E-scooter drivers could lull into a false sense of security by feeling safer at the descending limb and think using an e-scooter is a good alternative to a car or other motorized private transport.

Fourth: A study with a larger sample of subjects would be useful to finally assess the obtained hints.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL. The study was funded by the “Bund gegen Alkohol und Drogen im Straßenverkehr” (BADs).

Data Availability Anonymised raw data is available upon request (according to current scientific guidelines).

Declarations

Research involving human participants and/or animals This study includes research involving human participants.

Informed consent The study protocol was approved by the ethics committee of the University Hospital Düsseldorf (study number: 2019–735). Informed consent was obtained from all test subjects.

Conflict of interest The authors declare no competing interests.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

- Martin TL, Solbeck PA, Mayers DJ, Langille RM, Buczek Y, Pelletier MR (2013) A review of alcohol-impaired driving: the role of blood alcohol concentration and complexity of the driving task. *J Forensic Sci* 58:1238–1250
- National Highway Traffic Safety Administration (2000) A review of the literature on the effects of low doses of alcohol on driving-related skills. US Dept of Transportation, Washington, DC
- Borkenstein RF, Crowther RF, Shumate RP, Ziel WB (1974) Zylman: The role of the drinking driver in traffic accidents (The Grand Rapids Study). *Blutalkohol* 11(Suppl):1–131
- Hartung B, Mindiashvili N, Maatz R, Schwender H, Roth EH, Ritz-Timme S, Moody J, Malczyk A, Daldrup T (2015) Regarding the fitness to ride a bicycle under the acute influence of alcohol. *Int J Legal Med* 129(3):471–480
- Peck RC, Gebers MA, Voas RB, Romano E (2008) The relationship between blood alcohol concentration (BAC), age, and crash risk. *J Safety Res* 39:311–319
- Lutz F, Rahn R, Taupp W (1991) Effects of low blood alcohol concentration at different times of day. *Blutalkohol* 28:235–242
- Tsang B, Ansari R, Azhar A, Gerlai R (2018) Drinking in the morning versus evening: time-dependent differential effects of acute alcohol administration on the behavior of zebrafish. *Pharmacol Biochem Behav* 175:174–185
- Mishra L, Sharma S, Potter JJ, Mezey E (1989) More rapid elimination of alcohol in women as compared to their male siblings. *Alcohol Clin Exp Res* 13:752–754
- Detting A (2007) Fischer F, Böhler S, Ulrichs F, Skopp G, Graw M, Haffner HT: Ethanol elimination rates in men and women in consideration of the calculated liver weight. *Alcohol* 41:415–420
- Alford C, Broom C, Carver H, Johnson SJ, Lands S, Reece R, Verster JC (2020) The impact of alcohol hangover on simulated driving performance during a ‘commute to work’—zero and residual alcohol effects compared. *J Clin Med* 9:1435
- Hartung B, Schwender H, Mindiashvili N, Ritz-Timme S, Malczyk A, Daldrup T (2015) The effect of alcohol hangover on the ability to ride a bicycle. *Int J Legal Med* 129(4):751–758. <https://doi.org/10.1007/s00414-015-1194-2>
- Mellanby E (1919) Alcohol: its absorption into and disappearance from the blood under different conditions. *Med Res Comm. Spec Rep Ser No 31*. H.M.S.O., London
- Holland MG, Ferner RE (2017) A systematic review of the evidence for acute tolerance to alcohol—the “Mellanby effect.” *Clinical Toxicol* 55:545–556
- Zube K, Daldrup T, Lau M, Maatz R, Tank A, Steiner I, Schwender H, Hartung B (2022) E-scooter driving under the acute influence of alcohol—a real-driving fitness study. *Int J Legal Med*. <https://doi.org/10.1007/s00414-022-02792-3>
- Widmark EMP (1932) The theoretical basis and practical application of medical-legal determination of alcohol. *Urban and Schwarzenberg, Berlin*, pp 1–140
- Ramaekers JG (2018) Driving under the influence of cannabis An increasing public health concern. *JAMA* 319:1433–1434
- Verster JC, Roth T (2011) Standard operation procedures for conducting the on-the-road driving test, and measurement of the standard deviation of lateral position (SDLP). *Int J Gen Med* 4:359–371
- Goldberg L (1943) Quantitative studies on alcohol tolerance in man. The influence of ethyl alcohol on sensory, motor and psychological functions referred to blood alcohol in normal and habituated individuals. *Acta Physiol Scand* 5(Supplement XVI):1–128
- Bschor F (1951) Studien über den Ablauf der Alkoholintoxikation unter besonderer Berücksichtigung der pharmakopsychologischen Beziehung in der Resorptionsphase bei Alkoholgewöhnten. *Deutsche Zeitschrift für gerichtliche Medizin* 40:390–420
- Haggard HW, Greenberg LA (1934) Studies in absorption, distribution, and elimination of ethyl alcohol—III. Rate of oxidation of alcohol in the body. *J Pharmacol* 52:167–178

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

3. Zusätzliche Ergebnisse

Unterschiede in der Fahrleistung bei trockener und nasser Fahrbahn

Es konnte kein Unterschied zwischen einer trockenen oder nassen Fahrbahn bezüglich einer sich verschlechternden Fahrleistung unter Alkoholeinfluss festgestellt werden (individual driving performance: $p=0.28$).

4. Diskussion

Hauptmotivation zur Durchführung der Studie war, an der Beantwortung der Frage mitzuwirken, ob eine Anpassung der aktuell geltenden Grenze der absoluten Fahrunsicherheit (1,10 ‰) für E-Scooter-Fahrer notwendig ist. [89, 90, 91]

Vorweg ist festzuhalten, dass sich durch die Ergebnisse dieser Arbeit allein kein Grenzwert festlegen lässt, sondern dass diese Arbeit lediglich als Entscheidungshilfe dienen kann.

Eine Grenzwertfindung muss der Rechtsprechung beziehungsweise der Gesetzgebung vorbehalten bleiben.

Die Arbeit konzentriert sich auf die Ausfallerscheinungen und die ggf. damit einhergehende Fahrunsicherheit, die beim Führen eines E-Scooters vorliegt.

In der durchgeführten Studie konnte bereits im Bereich von 0,21-0,60‰ ein deutlicher Abfall der Fahrleistung festgestellt werden, wie durch die individuelle Fahrleistung („Individual driving performance“) demonstriert wurde, die sich auf die Fahrleistung im gesamten Parcours bezieht. [89, 90, 91]

Bei Betrachtung der jeweiligen Hindernisse zeigten sich jedoch Einschränkungen in unterschiedlichen BAK-Bereichen. [89, 90, 91]

Die im Parcours verwendeten Hindernisse lassen sich dabei mit unterschiedlichen Situationen im Verkehr vergleichen, wodurch sich Situationen mit erhöhter Unfallneigung veranschaulichen lassen. [89, 90, 91]

Ebenfalls wurden neurologisch-orientierende Untersuchungen mit speziellem Fokus auf die aussagekräftige Anwendbarkeit bei Verkehrskontrollen von E-Scooter-Lenkern betrachtet. Die vorliegenden Ergebnisse legen nahe, dass die vorgestellten neurologischen Untersuchungen bei verkehrsmedizinischen Kontrollen von E-Scooter-Fahrern einen Mehrwert besitzen. [89, 90, 91] Sie können jedoch nur bei kooperativen Verdächtigen vorgenommen werden.

Subjektive Ausfallerscheinungen

Mit der individuellen Fahrleistung („Individual driving performance“) wurde dargestellt, wie sich die Gesamtfahrleistung mit zunehmender Blutalkoholkonzentration verschlechtert. [89, 90, 91]

Die Verwendung der „Individual driving performance“ anstelle einer alleinigen Betrachtung der absoluten Fahrleistung („Absolute driving performance“) besitzt den Vorteil, das individuelle Vorliegen von möglichen Ausfallerscheinungen zu betrachten. Faktoren wie beispielsweise eine Alkoholgewöhnung, Fahrerfahrung und ein daraus resultierendes höheres Kompensationsvermögen können hiermit nicht ausgeschlossen werden, jedoch werden alle Probanden an ihrer Nüchternleistung gemessen. [89, 90, 91]

Eine erweiterte Einteilung in Gruppen bzgl. E-Scooter-Fahrerfahrung oder Alkoholgewöhnung würde eine wesentlich größere Anzahl an Probanden verlangen, um statistisch belastbare Aussagen zu bekommen. Im Weiteren müsste die Zweckhaftigkeit einer solchen Unterteilung hinterfragt werden, da eine absolute Promillegrenze grundsätzlich für alle (!) gilt. Eine Prüfung an einem gesunden und besonders leistungsfähigen Kollektiv ist daher sinnvoll.

Jedoch wurde bereits in der Rechtsprechung von 1966 (Beschluss BGH v.09.12.1966, Az.: 4 StR 119/66) diskutiert, dass aufgrund nicht zu vernachlässigbarer interindividueller Unterschiede ein Ansetzen eines niedrigeren Grenzwertes für die absolute Fahrunsicherheit bei Kraftfahrzeugführern schwer zu rechtfertigen ist. [38]

Kritische Betrachtung des Versuchsaufbaus im Vergleich zu alkoholbeeinflussten E-Scooter-Fahrten im Alltag

Die Durchführung der Fahrversuche erfolgte unter Laborbedingungen. Aufgrund von Wissenschafts- und Sicherheitsaspekten sind solche Untersuchungsbedingungen nicht zu umgehen. Die Probanden und Probandinnen waren sich bewusst, an einer Studie teilzunehmen und entsprechend motiviert gut abzuschneiden. [89, 90, 91]

Ein hohes Maß an Vigilanz wurde aufgrund der Anzahl an verschiedenen Hindernissen verlangt, auf die sich die Probanden und Probandinnen stets neu

fokussieren mussten und ein zügiger Wechsel zwischen diesen stattgefunden hat. Zwar ist dies auch im realen Straßenverkehr der Fall, jedoch sind die Probanden und Probandinnen auf die Hindernisse im Parcours vorbereitet und mit diesen vertraut. Der Ablauf des Parcours war klar gegliedert, wovon im realen Straßenverkehr nicht auszugehen ist. Besonders gefährlich sind grundsätzlich Situationen, in denen plötzlich erhöhte Anforderungen gestellt werden, z.B. neue Hindernisse unvorbereitet erscheinen oder wenn die Fahrbahn plötzlich uneben oder rutschig wird.

Die Tenazität lag sehr wahrscheinlich höher, als es bei einer unbeobachteten Fahrt im regulären, ggf. nächtlichen Straßenverkehr der Fall gewesen wäre.

Die Risikobereitschaft dürfte in den durchgeführten Versuchen hingegen höher gelegen haben als im realen Straßenverkehr: Die Probanden und Probandinnen befanden sich in einer geschützten Umgebung. Die Pflicht des Tragens eines Helmes und Schutzkleidung sowie die permanente Anwesenheit eines Rettungswagens könnten für das Gefühl einer falschen Sicherheit gesorgt haben, so dass die Hindernisse evtl. riskanter durchfahren wurden, als es im Straßenverkehr der Fall gewesen wäre. Dies könnte für eine höhere Anzahl an Fehlern im Parcours gesorgt haben. Es handelt sich jedoch um die üblichen Besonderheiten von Real-Fahrversuchen. [89, 90, 91]

Die Annahme eines möglichen Lerneffektes aufgrund mehrfachen Durchfahrens des Parcours konnte durch Vergleich mit einer konstant nüchternen Kontrollgruppe widerlegt werden. [89, 90, 91]

Der Alkoholkonsum in der Studie, insbesondere Trinkzeitraum und die damit assoziierte Alkohollast, stellten einen sozialverträglichen Konsum dar, wie er regelmäßig im Rahmen von Feiern stattfindet. Er ist als realitätsnah zu bezeichnen. [89, 90, 91] Die Alkohollast hat bekanntermaßen Einfluss auf die Alkoholwirkung. [3, 92]

Verschiedene Umwelt- und Straßenbedingungen wie nasse Straßenverhältnisse, Kopfsteinpflaster, Schotter oder erschwerte Sichtverhältnisse aufgrund von

Dunkelheit konnten nur teilweise mitberücksichtigt werden. Während der vier Versuchstage waren die Probandinnen und Probanden aber, infolge des nicht überdachten Versuchsgeländes im Freien, sowohl nassen wie auch trockenen Straßenverhältnissen ausgesetzt. [89, 90, 91]

Unterschiede im Fahrverhalten konnten jedoch nicht signifikant festgestellt werden (vgl. 3. Zusätzliche Ergebnisse). [89] Das Versuchsgelände war ebenerdig und gut zu überfahren, sodass diesbezüglich keine Störfaktoren vorgelegen haben. [89, 90, 91]

Einzelne Hindernisse

Bei speziellen Hindernissen konnte ein besonders erhöhtes Gefahrenpotential für den Straßen- und Fußgängerverkehr festgestellt werden.

Kreisfahrten, Slalomfahrten, Tordurchfahrten und eine beengte Fahrspur zu passieren, spiegeln kritische Verkehrssituationen wider, sowohl mit als auch ohne Beteiligung von Fußgängern.

Insbesondere Slalom- und Tordurchfahrten repräsentieren besonders gut Gefahrenkonstellationen mit Fußgängern, wie beispielweise einen belebten Bürgersteig. Zu beachten ist jedoch zusätzlich, dass eine erhöhte Herausforderung in der realen Situation vorliegen könnte, da Hindernisse in der Studie befestigt waren und andere Verkehrsteilnehmer, wie beispielweise Fußgänger, sich bekanntermaßen bewegen. Insbesondere unvorbereitete Bewegungskomponenten sind als Gefahr hervorzuheben.

Das spontane Reagieren auf eine neue Verkehrssituation demonstrierte im Versuchsaufbau die Reaktion auf ein Lichtsignal und entsprechendes Auswählen einer Gasse (Versuchstag 3 und 4). Signifikante Unterschiede zwischen Nüchternzustand und Alkoholeinfluss lagen jedoch nicht vor. Diesbezüglich können erneut die Vigilanz und Tenazität herangezogen werden: Die Probanden und Probandinnen waren situativ vorbereitet, auf ein Lichtsignal reagieren zu müssen. In realen Verkehrssituationen ist dies in der Regel nicht der Fall. [89, 90, 91]

Mit dem Kiesbett und den zu- und ausführenden Schwellen wurde eine Situation simuliert, die für eine erhöhte Schwierigkeit zum Einhalten der Fahrspur führen sollte. Unerwarteterweise zeigten sich nahezu keine Fahrfehler in diesem Bereich. Durch den nur teils befestigten Untergrund bei solchen Straßenbedingungen sind insbesondere stärkere Lenkbewegungen (Ausweichen, engere Kurven) oder Bremsbewegungen als Unfallförderer zu vermuten und weniger ein Geradeausfahren, wie es hier durchgeführt werden musste. Lenkmanöver im Kiesbett wurden aus umsetzungstechnischen und Sicherheitsaspekten nicht durchgeführt. [89, 90, 91]

Nicht nur für Fußgänger ist das Gefahrenpotential erhöht

E-Scooter-Fahrer sind nicht zwingend selbst Unfallverursacher, sondern durch das kleine, wendige, und schnelle Fahrzeug besteht auch das Risiko übersehen zu werden. Weber nennt, dass 30,9% der Unfälle mit E-Scooter-Beteiligung im Jahr 2021 in Niedersachsen von den E-Scooter-Fahrenden selbst verursacht wurden. [93]

Ebenfalls wird jedoch eine Fahrunsicherheit durch Alkoholeinfluss benannt, die insbesondere im Vergleich zu anderen Verkehrsteilnehmern, wie zum Beispiel Fahrradfahrer mit 5,9%, bei 14.9% liegt. [93] Ähnliche Daten aus dem Jahr 2022 liegen von DESTATIS vor, die bereits oben erwähnt wurden. [65]

Übertragung des Mellanby-Effektes in die Praxis

Die zusätzlich durchgeführte Analyse für einen möglichen Mellanby-Effekt ergab Belege für seine Existenz bei E-Scooter-Nutzern. [20] Der Mellanby-Effekt stützt die Annahme, dass während der Anflutungsphase mehr Ausfallerscheinungen als in der Resorptionsphase vorliegen. Der Effekt ist jedoch vergleichsweise gering ausgeprägt. [20]

Vorschläge für mehr Sicherheit im Straßenverkehr bei E-Scootern

Als Lösungsansätze, zunächst für PKWs und LKWs, aber inzwischen auch für E-Scooter, wurden bereits so genannte „Alcolocks“ (auch Alkohol-Interlocks bzw. Alkoholverkehrssperren) in die Diskussion eingebracht. [94, 95, 96] Als solche

werden Sicherungssysteme zum Freischalten von Fahrgeräten bezeichnet, bei denen eine Atemalkoholprobe analysiert wird. [97]

Vor- und Nachteile dieser Systeme liegen auf der Hand. [98] Der Einbau eines Atemalkoholmessgerätes mit einem elektrochemischen Sensor an einem E-Scooter ist technisch anspruchsvoll und kostenintensiv. Da ein Einbau insbesondere für Sharing-Dienste bei nächtlicher Nutzung des E-Scooters hilfreich wäre, es diesbezüglich aber keine gesetzlichen Vorgaben gibt, ist der freiwillige Einbau für die Anbieter nicht attraktiv.

E-Scooter-Verleiher erwägen die Freischaltung über ein mobiles Endgerät in Kombination mit der zugehörigen App oder direkt am Fahrgerät selbst. [99, 100] Für die Nutzung wäre dann die erfolgreiche Ausführung einer Konzentrations- und Koordinationsübung notwendig. Wird die Aufgabe falsch oder zu langsam gelöst, wird von einer relevanten Beeinträchtigung (z.B. durch Alkoholkonsum) ausgegangen, sodass die Nutzung verwehrt wird. Z.B. muss bei der Firma „Bolt“ ein kurzes Reaktionsspiel absolviert werden, dessen Funktion im Zeitraum von 22 Uhr abends und 5 Uhr morgens, von Donnerstag bis Sonntag aktiviert ist. [91, 99, 100]

Die Beschränkung lässt sich vermutlich darauf zurückführen, dass sich in diesem Zeitraum die höchste Anzahl an Unfällen unter Alkoholeinfluss ereignet. [52, 54, 68, 69, 70, 71, 72, 93]

Im Artikel 6 der EU-Verordnung 2019/2144 (inklusive der delegierten Verordnung (EU) 2021/1243) ist festgelegt, dass Typzulassungen für Kraftfahrzeuge der Kategorie M und N ab dem 06. Juli 2022 nur erteilt werden dürfen, wenn diese mit einer Schnittstelle für den Anschluss eines „Alcolocks“ ausgerüstet sind. [97] Obwohl E-Scooter zu den Kraftfahrzeugen gehören, fallen sie aufgrund der Kategorieuordnung nicht unter diese Verordnung.

Bereits im Jahr 2017 führte Österreich ein fünfjähriges Pilotprojekt durch. [95] Personen, die ihren Führerschein aufgrund von Alkohol im Straßenverkehr für mindestens 4 Monate entzogen bekommen haben, wurde angeboten, an diesem Projekt teilzunehmen und den Entzug des Führerscheins (Kategorie B und BE) auf die Hälfte verkürzen zu können. Als Bedingung für den verkürzten Zeitraum war die Benutzung einer Alkoholverkehrsperre für mindestens 6 Monate

notwendig. Ernüchternd zeigte sich die Bereitschaft an einer Teilnahme: Nur 1,25% der berechtigten Personen nahmen teil, was wohl an der geringen Popularität, den hohen Kosten und der geringen Praktikabilität gelegen hat. [95]

Als noch eher umsetzbare Lösung hat beispielsweise München erwogen, ein Nachtfahrverbot zu verhängen, um den insbesondere nächtlich vorkommenden Alkoholfahrten entgegenzuwirken. [71]

Ein weiteres Problem stellt die rechtswidrige Nutzung in fußgängerbelebten Bereichen wie Fußgängerzonen oder Bürgersteigen dar. [69, 84] Um eine Nutzung der „Letzten Meile-Mobilität“ zu gewährleisten, muss die Möglichkeit einer guten und schnellen Erreichbarkeit der E-Scooter bestehen bleiben. [50, 51, 52, 53] Dies ist damit verbunden, entsprechende Nutzungszonen in verkehrs- und fußgängerbelebten Bereichen zu schaffen.

Wie bereits thematisiert, sind Verkehrsregelverstöße keine Seltenheit bei E-Scootern-Fahrern. Grundlegend wäre zu klären, ob den Nutzern diese bewusst sind und ob Nutzer aktiv dagegen verstoßen.

Welche Gründe sprechen für eine Absenkung der absoluten Promillegrenze für E-Scooter-Nutzende?

In Zusammenschau mit den steigenden Unfallzahlen unter Alkoholeinfluss und den hier vorgestellten Ergebnissen, wäre die Einführung eines strengeren Grenzwertes für die absolute Fahrunsicherheit, also unter 1,10 ‰ Promille, erwägbare. Jedoch könnte in dem ohnehin schon komplexen deutschen System aus Grenzwerten (verschiedene Fahrzeuge, Straftat vs. Ordnungswidrigkeit) dies für Verwirrung sorgen. [67, 101, 102, 103] Somit wäre aus Praktikabilitätsgründen eine Verwendung des bereits bestehenden Grenzwerts der absoluten Fahrunsicherheit von 1,10 ‰ (Kfz) für E-Scooter-Fahrer simpler und anwenderfreundlicher, wobei die Datenlage für eine Anhebung auf 1,60 ‰ (absolute Promillegrenze für Fahrrad/Pedelec) keine Gründe liefert.

Im Jahr 2022 entschied das Kammergericht in Berlin, welches auch die vorliegende Studie in seinem Urteil als Referenz verwendet hat, dass Elektrokleinstfahrzeuge zu den Kraftfahrzeugen zählen und die 1,10‰ Promillegrenze zu gelten hat. [89, 103]

Der Bundesgerichtshof hat jedoch die Anwendbarkeit der absoluten Fahrunsicherheit von 1,10‰ (Stand April 2024) für E-Scooter noch offengelassen. [31, 57, 104]

Sollten Romberg-Test und/oder Unterberger-Tretversuch Teil der ärztlichen Untersuchungen bei Verdacht auf Fahren unter Alkoholeinfluss sein?

Der Unterberger-Tretversuch und Romberg-Test sind gängige, einfach durchzuführende neurologische Untersuchungen zur Beurteilung der Stand- und Gangsicherheit. Im engeren Sinn wird die vestibulo-zerebelläre Funktion geprüft, die auf eine Beeinträchtigung im Rahmen des Alkoholkonsums hindeutet.

In den in Zusammenhang mit den Fahrversuchen durchgeführten Untersuchungen konnten signifikante Auffälligkeiten festgestellt werden. [89, 90, 91] Schlechtere Untersuchungsergebnisse korrelierten mit einer steigenden BAK, sowie einer sich verschlechternden Fahrleistung. Zum Zeitpunkt der Studiendurchführung (in NRW) fanden diese Tests keine Verwendung in dem ärztlichen Untersuchungsbericht. Aufgrund ihrer simplen Durchführbarkeit wäre zu erwägen, diese dem ärztlichen Untersuchungsbericht hinzuzufügen. Hierzu ist jedoch eine Untersuchungssituation zu schaffen, bei der sich die Probanden nicht an Geräusch- oder Lichtquellen orientieren können und der Untersucher ist, wie bereits ausgeführt, auf die freiwillige Mitwirkung des Probanden angewiesen.

Die nicht vorhandene Verblindung im Rahmen der ärztlichen Untersuchung ist dabei zu beachten. Die Untersucher waren darüber informiert, welche BAK-Bereiche bei welcher Untersuchung sehr wahrscheinlich vorliegen. Eine Beeinflussung des Untersuchungsergebnisses kann insofern nicht ausgeschlossen werden, sodass eine Überprüfung dieser Ergebnisse unter Verblindung zu empfehlen wäre.

5. Fazit

Mit der vorliegenden Studie konnte eine signifikant verschlechterte Fahrleistung bei E-Scooter-Fahrenden ab einer Blutalkoholkonzentration um 0,30‰ demonstriert werden. [89, 90, 91]

In der Arbeit werden die verschiedenen Probleme, die sich aus der Nutzung von E-Scootern in alkoholisiertem Zustand ergeben, diskutiert.

Die Studie war nach dem aktuellen und damaligen Wissen die erste Studie, welche prospektiv die Auswirkungen von Alkoholeinfluss auf die Fahrsicherheit von E-Scooter-Fahrern mit realen Fahrversuchen untersuchte. [89]

Da die Studie unter „Laborbedingungen“ durchgeführt wurde, ist dies mit Besonderheiten verknüpft, die berücksichtigt werden müssen.

Bei vergleichbaren BAKen können unterschiedliche Alkoholwirkungen in der Resorptions- und Eliminationsphase vorliegen, sodass verschiedene Quellen darauf hinweisen, dass eine schlechtere Fahrleistung in der Resorptionsphase als in der Eliminationsphase vorhanden sein könnte. [20]

Umweltfaktoren wie eine nasse Fahrbahn, Regen oder Dunkelheit sowie plötzlich auftretende Ereignisse sind potenzielle Ursachen für erschwerte Fahrbedingungen. Ein erhöhtes Gefährdungspotential durch eine nasse Fahrbahn konnte in der vorliegenden Studie geprüft und nicht nachgewiesen werden. [89]

Anpassungen der Nutzungszeiten (nächtliche Beschränkung) und Nutzungsbereiche wären eine Möglichkeit, gegen die erhöhte Unfallgefahr bei alkoholisierten E-Scooterfahrern vorzugehen.

Aufgrund der Komplexität der Grenzwertfindung kann diese Arbeit nur die wissenschaftlichen Grundlagen zu praktischen Fahrversuchen liefern, die einen Baustein in der Grenzwert-Rechtsprechung darstellen. Als Beispiel sei zu

nennen, dass die in dieser Arbeit beschriebenen Fahrversuche in einem obergerichtlichen Urteil des Kammergerichts Berlin 2022 Eingang gefunden hat (KG, Urt. v. 10.05.2022 - (3) 121 Ss 67/21 (27/21)). [103]

Bezüglich der genannten Kritikpunkte und Variablen an solchen Studien ist es im Übrigen wichtig, epidemiologische Verkehrsunfalldaten bei der Findung eines Grenzwertes einfließen zu lassen. Erst in Zusammenschau mit den epidemiologischen Daten lässt sich näherungsweise eine Promillegrenze bestimmen.

6. Literaturverzeichnis

1. Marquardt H, Schäfer SG, Barth H. Alkohol. Toxikologie. 4: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart. 2019. Seite 594-9.
2. Huckenbeck W, Bonte W. Ethanol. Handbuch gerichtliche Medizin. Band 2: Springer Berlin, Heidelberg. Seite 379-636.
3. Madea B, Dettmeyer R. Alkohol. In: Madea B, Dettmeyer R. Basiswissen Rechtsmedizin. Seite 192-9.
4. Huckenbeck W, Bonte W. Alkohologie - Pharmakokinetik des Ethanols. Handbuch gerichtliche Medizin. Band 2: Springer Berlin, Heidelberg. Seite 403-15.
5. Wehner H-D. Alkohol. In: Madea B. Rechtsmedizin - Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung. 3. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2015. Seite 707-29
6. Gilg T. Nachweis, Physiologie, Metabolismus. In: Madea B, Mußhoff F, Berghaus G. Verkehrsmedizin - Fahreignung, Fahrsicherheit, Unfallrekonstruktion. Köln: Deutscher Ärzteverlag. 2012. Seite 457-67.
7. Karow T, Lang-Roth R. Alkohol. In: Karow T, Lang-Roth R. Allgemeine und Spezielle Pharmakologie und Toxikologie. 282020. Seite 1288-90.
8. Gilg T. Psychophysische Leistungsminderungen und Fahrsicherheit, alkoholbedingte Fahruntüchtigkeit bzw. Fahrunsicherheit. In: Madea B, Mußhoff F, Berghaus G. Verkehrsmedizin - Fahreignung, Fahrsicherheit, Unfallrekonstruktion. Köln: Deutscher Ärzteverlag. 2012. Seite 467-70.
9. Gerchow J. Verkehrsrelevante Wirkungen. In: Singer M, Teyssen S. Alkohol und Alkoholfolgekrankheiten: Grundlagen — Diagnostik — Therapie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2005. Seite 532-3.
10. Heß C, Musshoff F, Madea B. Alkohol und Drogen im Straßenverkehr. In: Madea B. Rechtsmedizin - Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung. 3. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2015. Seite 700-7.
11. Bothorn JB, Schwender H, Graw M, Kienbaum P, Hartung B (2022). Cycling under the influence of alcohol-criminal offenses in a German metropolis. *Int J Legal Med*;136(4):1121-32.
12. Hartung B, Schwender H, Mindiashvili N, Ritz-Timme S, Malczyk A, Daldrup T (2015). The effect of alcohol hangover on the ability to ride a bicycle. *Int J Legal Med*;129(4):751-8.
13. Verster JC, Alford C, Bervoets AC, de Klerk S, Grange JA, Hogewoning A, et al. (2013). Hangover research needs: proceedings of the 5th Alcohol Hangover Research Group meeting. *Curr Drug Abuse Rev*;6(3):245-51.
14. Finnigan F, Schulze D, Smallwood J, Helander A (2005). The effects of self-administered alcohol-induced 'hangover' in a naturalistic setting on psychomotor and cognitive performance and subjective state. *Addiction*;100(11):1680-9.
15. Prat G, Adan A, Pérez-Pàmies M, Sánchez-Turet M (2008). Neurocognitive effects of alcohol hangover. *Addict Behav*;33(1):15-23.
16. Törnros J, Laurell H (1991). Acute and hang-over effects of alcohol on simulated driving performance. *Blutalkohol*;28(1):24-30.
17. Laurell H, Törnros J (1983). Investigation of alcoholic hang-over effects on driving performance. *Blutalkohol*;20:489-99.

18. Grüner O (1961). Über die psychische Leistungsverminderung durch „Restalkohol“. Dtsch Z Ges Gerichtl Med;51:422–9.
19. Mellanby E (1919). Alcohol: its absorption into and disappearance from the blood under different conditions. . Med Res Comm Spec Rep Ser No 31 HMSO, London.
20. Zube K, Lau M, Daldrup T, Bruch GM, Tank A, Hartung B (2023). The "Mellanby effect" in alcoholised e-scooter drivers. Int J Legal Med;137(2):537-43.
21. Bschor F (1951). [On the course of alcoholic intoxication with special reference to pharmacopsychological factors during the resorption phase in addicts]. Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med;40(5):399-420.
22. Haggard H, Greenberg L (1934). Studies in absorption, distribution, and elimination of ethyl alcohol—III. Rate of oxidation of alcohol in the body. J Pharmacol;52:167–78.
23. Strafgesetzbuch (StGB) - § 316 Trunkenheit im Verkehr.
24. Strafgesetzbuch (StGB) - § 315c Gefährdung des Straßenverkehrs.
25. § 81a Körperliche Untersuchung des Beschuldigten; Zulässigkeit körperlicher Eingriffe.
26. Gerichtsverfassungsgesetz (GVG) - § 152.
27. Wehner H-D. Ethanolnachweis. In: Madea B. Rechtsmedizin - Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung. 3. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2015. Seite 716-9.
28. Heß C, Musshoff F, Madea B. Definitionen Fahrfertigkeit/ Fahreignung/Fahrsicherheit. In: Madea B. Rechtsmedizin - Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung. 3. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2015. Seite 700-1.
29. Berghaus G, Brenner-Hartmann J. Definitionen von Fahreignung und Fahrsicherheit. In: Madea B, Mußhoff F, Berghaus G. Verkehrsmedizin - Fahreignung, Fahrsicherheit, Unfallrekonstruktion. Köln: Deutscher Ärzteverlag. 2012. Seite 132-4.
30. Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr (Fahrerlaubnis-Verordnung - FeV) - § 2 Eingeschränkte Zulassung.
31. Beschluss BGH v.13.04.2023 – 4 StR 439/22, (2023).
32. Heß C, Musshoff F, Madea B. Spezielle rechtliche Grundlagen. In: Madea B. Rechtsmedizin - Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung. 3. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2015. Seite 701-3.
33. Mußhoff F, Madea B. Polizeiliche Verdachtsgewinnung, Beweissicherung, Gefahrenabwehr. In: Madea B, Mußhoff F, Berghaus G. Verkehrsmedizin - Fahreignung, Fahrsicherheit, Unfallrekonstruktion. Köln: Deutscher Ärzteverlag. 2012. Seite 169-84.
34. Heß C, Musshoff F, Madea B. Polizeiliche Verdachtsgewinnung und Beweissicherung. In: Madea B. Rechtsmedizin - Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung. 3. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2015. Seite 703-7
35. Huckenbeck W, Bonte W. Alkohologie - Ethanol im Straßenverkehr. Handbuch gerichtliche Medizin. Band 2: Springer Berlin, Heidelberg. Seite 386-95.
36. Borkenstein R, Crowther R, Shumate R, Ziel W, Zylman R (1974). The role of the drinking driver in traffic accidents (The Grand Rapids Study). Blutalkohol;11.
37. Krüger H (1995). Das Unfallrisiko unter Alkohol. Fischer, Stuttgart Jena New York.
38. Bundesgerichtshof Beschl. v. 09.12.1966, Az.: 4 StR 119/66, (1966).

39. Huckenbeck W, Bonte W. Alkohologie - Rechtliche Bestimmungen. Handbuch gerichtliche Medizin. Band 2: Springer Berlin, Heidelberg. Seite 397-403.
40. Krüger H-P (1990). Absolute Fahruntüchtigkeit bei 1,0 Promille - die falsch gesetzte Grenze. Blutalkohol;27:182-201.
41. Strasser (1972). Über die Dynamik der Alkoholwirkung auf eine psychomotorische Trackingleistung in der Resorptions- bzw. Übergangsphase. Blutalkohol;9:112-22.
42. Gerlach D (1972). Fahrversuche zum Kurvenunfall nach Alkoholgenuß. Blutalkohol;9:239-49.
43. Heppner (1973). Verlaufsuntersuchungen über den alkoholbedingten Leistungsabfall in einem Bereich von 0,5-1,15‰ mit einem Fahrsimulator *). Blutalkohol;10:166-76.
44. Lewrenz H, Berghaus G, Dotzauer G (1974). Alkoholfahrten auf dem VW-Simulator*. Blutalkohol;11:104-22.
45. Wilhelmi F, Lindner H-J, Audrlicky I (1972). Untersuchungen über das Sehen in der Dämmerung nach Alkoholaufnahme. Blutalkohol;9:473-85.
46. Gilg T, Liebhardt E, Schuller E, Riedel K (1984). Alkoholbedingte Wahrnehmungsstörungen im peripheren Gesichtsfeld - Untersuchungen mit dem automatischen Perimeter OCTOPUS®*). Blutalkohol;21:235-49.
47. Heifer U (1986). [Acute alcohol-induced disorders of psychophysical performance and its relevance for traffic medicine (attempt at a comprehensive, synoptic statement and evaluation of neuropathophysiology and traffic medicine of the relation between acute alcohol effect and traffic safety with a determination of status in 1986]. Blutalkohol;23(5):364-70.
48. Bundesgerichtshof Urt. v. 28.06.1990, Az.: 4 StR 297/90, (1990).
49. Winkler C, Eppler M, Graw M, Helmreich C (2020). Alkoholfahrten mit dem E-Scooter - Erste Fälle am Institut für Rechtsmedizin München zwischen Juni und August 2019. Blutalkohol;57:141-4.
50. Trentmann H (2022). E-Scooter-Probleme und Fehlentwicklung. Blutalkohol;59:173-4.
51. Eppler M, Schick S, Graw M, Holzer A, Helmreich C (2022). Verkehrsordnungswidrigkeiten bei Fahrten mit E-Scootern nach Alkohol- bzw. Rauschmittelkonsum zwischen Juni 2019 und September 2021 in München. Blutalkohol;59:182-94.
52. Mehdizadeh M, Nordfjaern T, Klöckner CA (2023). Drunk or Sober? Number of alcohol units perceived to be safe before riding e-scooter. Accid Anal Prev;181:106930.
53. Wang K, Qian X, Fitch DT, Lee Y, Malik J, Circella G (2023). What travel modes do shared e-scooters displace? A review of recent research findings. Transport Reviews;43(1):5-31.
54. Moran J, Buck A, Williams J, Piatkowski T, Unnikrishnan R (2023). Impact on the health service in the Top End, Northern Territory following the introduction of an electric scooter sharing service. Emerg Med Australas;35(2):194-9.
55. Toofany M, Mohsenian S, Shum LK, Chan H, Brubacher JR (2021). Injury patterns and circumstances associated with electric scooter collisions: a scoping review. Inj Prev;27(5):490-9.
56. Todd J, Krauss D, Zimmermann J, Dunning A. Behavior of Electric Scooter Operators in Naturalistic Environments. SAE International; 2019.

57. Schäffer B. Rechtliche Rahmenbedingungen für Elektrokleinstfahrzeuge. ZVS - Zeitschrift für Verkehrssicherheit 2022:197-200.
58. Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr 1 (Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung - eKFV) § 1 Anwendungsbereich.
59. Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr 1 (Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung - eKFV) § 2 Anforderungen an das Inbetriebsetzen.
60. Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr 1 (Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung - eKFV) § 9 Anwendung der Straßenverkehrs-Ordnung.
61. Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr 1 (Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung - eKFV) § 10 Zulässige Verkehrsflächen.
62. Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr 1 (Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung - eKFV) - § 3 Berechtigung zum Führen.
63. Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr 1 (Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung - eKFV) § 8 Personenbeförderung und Anhängerbetrieb.
64. Petzoldt T, Ringhand M, Anke J, Schekatz N, editors. Do German (Non)Users of E-Scooters Know the Rules (and Do They Agree with Them)? HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems; 2021; Cham: Springer International Publishing; 2021:425-35.
65. KORREKTUR: 65 % aller E-Scooter-Unfälle mit Personenschaden ereigneten sich 2022 in Großstädten [Pressemitteilung]. Wiesbaden. Statistisches Bundesamt, 10.05.2023. Online: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/05/PD23_N028_462.html. [Letzter Zugriff: 13.04.2024].
66. Eichendorf W (2023). Zur Einordnung des AK V beim 61.Verkehrsgerichtstag: Auf der Suche nach geltenden und erforderlichen Grenzen für E-Scooter, Fahrräder & Co. . Blutalkohol;60:76-9.
67. Valerius B (2023). Zur Übertragung der „1,1‰“-Grenze und zur Anwendbarkeit der Regelvermutung gemäß § 69 Abs.2 StGB*). Blutalkohol;60:80-9.
68. Kleinertz H, Ntalos D, Hennes F, Nüchtern JV, Frosch KH, Thiesen DM (2021). Accident Mechanisms and Injury Patterns in E-Scooter Users—A Retrospective Analysis and Comparison With Cyclists. Dtsch Arztebl Int;118(8):117-21.
69. Murros O, Puolakkainen T, Abio A, Thorén H, Snäll J (2022). Urban drinking and driving: comparison of electric scooter and bicycle related accidents in facial fracture patients. Med Oral Patol Oral Cir Bucal;10.4317/medoral.25662.
70. Stigson H, Malakuti I, Klingegård M (2021). Electric scooters accidents: Analyses of two Swedish accident data sets. Accid Anal Prev;163:106466.
71. Helmreich C (2022). Bisherige und künftige Untersuchungen zu alkoholisierten E-Scooter-Fahrenden in München. Blutalkohol;59:195-6.
72. Gan-El E, Ngatchou Djomo W, Pascu Ciobanu AM, Kaufman L, Ndé Djilé F, Ulrix M, et al. (2022). Risk assessment, consequences, and epidemiology of electric scooter accidents admitted to an emergency department: a prospective observational study. Eur J Trauma Emerg Surg;48(6):4847–55.

73. Cicchino JB, Kulie PE, McCarthy ML (2021). Injuries related to electric scooter and bicycle use in a Washington, DC, emergency department. *Traffic Inj Prev*;22(5):401-6.
74. Störmann P, Klug A, Nau C, Verboket RD, Leiblein M, Müller D, et al. (2020). Characteristics and Injury Patterns in Electric-Scooter Related Accidents-A Prospective Two-Center Report from Germany. *J Clin Med*;9(5).
75. Shiffler K, Mancini K, Wilson M, Huang A, Mejia E, Yip FK (2021). Intoxication is a Significant Risk Factor for Severe Craniomaxillofacial Injuries in Standing Electric Scooter Accidents. *J Oral Maxillofac Surg*;79(5):1084-90.
76. Mitchell G, Tsao H, Randell T, Marks J, Mackay P (2019). Impact of electric scooters to a tertiary emergency department: 8-week review after implementation of a scooter share scheme. *Emerg Med Australas*;31(6):930-4.
77. Beck S, Barker L, Chan A, Stanbridge S (2020). Emergency department impact following the introduction of an electric scooter sharing service. *Emerg Med Australas*;32(3):409-15.
78. Badeau A, Carman C, Newman M, Steenblik J, Carlson M, Madsen T (2019). Emergency department visits for electric scooter-related injuries after introduction of an urban rental program. *Am J Emerg Med*;37(8):1531-3.
79. Shichman I, Shaked O, Factor S, Elbaz E, Khoury A (2021). Epidemiology of Fractures Sustained During Electric Scooter Accidents: A Retrospective Review of 563 Cases. *J Bone Joint Surg Am*;103(12):1125-31.
80. Trivedi TK, Liu C, Antonio ALM, Wheaton N, Kreger V, Yap A, et al. (2019). Injuries Associated With Standing Electric Scooter Use. *JAMA Netw Open*;2(1):e187381.
81. Mukhtar M, Ashraf A, Frank MS, Steenburg SD (2021). Injury incidence and patterns associated with electric scooter accidents in a major metropolitan city. *Clin Imaging*;74:163-8.
82. Cicchino JB, Kulie PE, McCarthy ML (2021). Severity of e-scooter rider injuries associated with trip characteristics. *J Safety Res*;76:256-61.
83. English KC, Allen JR, Rix K, Zane DF, Ziebell CM, Brown CVR, et al. (2020). The characteristics of dockless electric rental scooter-related injuries in a large U.S. city. *Traffic Inj Prev*;21(7):476-81.
84. Haworth N, Schramm A, Twisk D (2021). Comparing the risky behaviours of shared and private e-scooter and bicycle riders in downtown Brisbane, Australia. *Accid Anal Prev*;152:105981.
85. Wang IJ, Cho YM, Cho SJ, Yeom SR, Park SW, Kim SE, et al. (2022). Prediction of Severe Injury in Bicycle Rider Accidents: A Multicenter Observational Study. *Emerg Med Int*;2022:7994866.
86. Suominen EN, Sajanti AJ, Silver EA, Koivunen V, Bondfolk AS, Koskimäki J, et al. (2022). Alcohol intoxication and lack of helmet use are common in electric scooter-related traumatic brain injuries: a consecutive patient series from a tertiary university hospital. *Acta Neurochir (Wien)*;164(3):643-53.
87. Gioldasis C, Christoforou Z, Seidowsky R (2021). Risk-taking behaviors of e-scooter users: A survey in Paris. *Accid Anal Prev*;163:106427.
88. Teigen M, Wängnerud L (2009). Tracing Gender Equality Cultures: Elite Perceptions of Gender Equality in Norway and Sweden. *Politics & Gender*;5:21-44.

89. Zube K, Daldrup T, Lau M, Maatz R, Tank A, Steiner I, et al. (2022). E-scooter driving under the acute influence of alcohol-a real-driving fitness study. *Int J Legal Med*;136(5):1281-90.
90. Zube K, Daldrup T, Maatz R, Lau M, Hartung B (2022). Wie wirkt sich Alkoholeinfluss auf die Fahrsicherheit beim Führen eines E-Scooters aus? *Blutalkohol*;59:175-81.
91. Zube K, Daldrup T, Lau M, Maatz R, Tank A, Steiner I, et al. (2022). Zur Fahrsicherheit von Alkoholbeeinflussten E-Scooter-Fahrenden. *ZVS - Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 68:195-7.
92. Gilg T. Alkoholstoffwechsel, speziell aus forensischer Sicht - Absorption, Distribution, Elimination. In: Singer MV, Teyssen S. *Alkohol und Alkoholfolgekrankheiten: Grundlagen — Diagnostik — Therapie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2005. Seite 556-62.
93. Weber N (2023). E-Scooter- Polizeiliches Lagebild für das Bundesland Niedersachsen*). *Blutalkohol*;60:114-26.
94. E-Scooter-Unfälle: ACE fordert Alkolocks und Helmpflicht [Pressemitteilung]. ACE Pressemitteilung. 11.05.2023. Online: <https://presse.ace.de/pressemitteilungen/presse-detail/news/e-scooter-unfaelle-ace-fordert-alkolocks-und-helmpflicht/>. [Letzter Zugriff: 13.04.2024].
95. (2023). Österreich: Evaluierung Alternatives Bewährungssystem mittels Alkoholverkehrssperre. *Blutalkohol*;60:126-7.
96. (2023). ETSC: Conditional Licences and Alcohol Interlock Rehabilitation Programmes in the Revision of the EU Driving Licence Directive 2006/126 - Auszug -. *Blutalkohol*;60:136-8.
97. DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) 2021/1243 DER KOMMISSION, (19.04.2021).
98. [bussgeldkatalog.org Alkolock](https://www.bussgeldkatalog.org/alkolock/), die Alkohol-Wegfahrsperre für mehr Sicherheit. Online: <https://www.bussgeldkatalog.org/alkolock/>. [Letzter Zugriff 13.04.2024].
99. Neue Sicherheitsfunktion: Bolt schärft Bewusstsein für E-Scooter-Fahrten unter Alkoholeinfluss [Pressemitteilung]. Berlin.2022. Online: <https://www.presseportal.de/pm/160393/5138253>. [Letzter Zugriff: 16.07.2023].
100. Neue Sicherheitsfunktion: Bolt schärft Bewusstsein für E-Scooter-Fahrten unter Alkoholeinfluss [Pressemitteilung]. Berlin.2022. Online: https://www.volksfreund.de/pr/presseportal/neue-sicherheitsfunktion-bolt-schaerft-bewusstsein-fuer-e-scooter-fahrten-unter-alkoholeinfluss_aid-65944061. [Letzter Zugriff: 13.04.2024].
101. BayObLG, Beschluss v. 24.07.2020 – 205 StRR 216/20, (2020).
102. BayObLG *Absolute Fahrunsicherheit bei E-Scootern (NZV 2020, 582), (2020).
103. KG, Urt. v. 10.05.2022 - (3) 121 Ss 67/21 (27/21), (2022).
104. Beschluss BGH v.02.03.2021 – 4 StR 466/22, (2021).

7. Anhang

Supplementary material aus der Publikation:

Zube K, Daldrup T, Lau M, Maatz R, Tank A, Steiner I, Schwender H, Hartung B (2022). E-Scooter driving under the acute influence of alcohol - a real-driving fitness study. *Int J Legal Med*; 136(5):1281-1290

Tables and supplementary table material

BAC	Number of subjects	Narrowing track	Gate passage	Slalom	Circles counterclockwise
0 vs. [0.21-0.40]	10	0.50	0.81	0.02	0.06
0 vs. [0.41-0.60]	36	0.01	0.69	0.18	< 0.01
0 vs. [0.61-0.80]	40	0.12	0.37	0.61	< 0.01
0 vs. [0.81-1.00]	38	0.19	< 0.01	< 0.01	< 0.01
0 vs. [1.01-1.20]	37	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
0 vs. [1.21-1.40]	25	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01

Table 1: P values of the sober performance versus the stated BAC range yielded by the error score for the named obstacles. The ranges 0 vs. [0.01-0.20], 0 vs. [1.41-1.60] and 0 vs. [1.61-1.80] are not illustrated, because of low observation numbers in the respective BAC groups (1 to 5 observations only).

Obstacle	p value BAC	p value error score
Narrowing track	0.91	0.01
Gate passage	< 0.01	< 0.01
Gravel bed*	0.18	0.01
Circles counterclockwise	< 0.01	< 0.01
Turns with timely directional indication *	0.35	0.40
Thresholds*	0.61	< 0.01
Slalom	0.99	0.82
Alley * (Days 1 and 2)	0.69	0.12
Alley (Days 3 and 4)	< 0.01	< 0.01
Speed track (Days 1 and 2)	0.24	< 0.01
Speed track (Days 3 and 4)	0.02	0.09

Table 2, supplementary material: P values for time to pass the obstacle in comparison to the increasing BAC and error score. * = low amount of errors. A significant value of the BAC means that the test subjects needed more time to pass the obstacle with increasing BAC. A significant p value for the error score means that the test subject needed more time to pass the obstacle with an increasing error score.

BAC	Number of subjects	Estimate	Lower	Upper
0 → [0.21-0.40]	10	0.59	0.38	0.91
0 → [0.41-0.60]	36	0.56	0.43	0.73
0 → [0.61-0.80]	40	0.56	0.43	0.71
0 → [0.81-1.00]	38	0.38	0.29	0.49
0 → [1.01-1.20]	37	0.28	0.22	0.36
0 → [1.21-1.40]	25	0.20	0.15	0.27

Table 3, supplementary material: Individual driving performance under the influence of alcohol. Lower and upper columns represent the bounds of the 95% confidence interval. Baseline: 1.0. The column "Estimate" describes the estimated individual driving performance in comparison to the sober driving performance ("Estimate" = 1), denoted as a decimal value. The ranges 0 vs. [0.01-0.20], 0 vs. [1.41-1.60] and 0 vs. [1.61-1.80] are not illustrated, because of low observation numbers in the respective BAC groups (1 to 5 observations only).

BAC	Number of subjects	Absolute Score	Individual Score
0 vs. [0.21-0.40]	10	0.04	0.02
0 vs. [0.41-0.60]	36	< 0.01	< 0.01
0 vs. [0.61-0.80]	40	< 0.01	< 0.01
0 vs. [0.81-1.00]	38	< 0.01	< 0.01
0 vs. [1.01-1.20]	37	< 0.01	< 0.01
0 vs. [1.21-1.40]	25	< 0.01	< 0.01

Table 4, supplementary material: P value of the sober performance versus the stated BAC range yielded by the absolute scores and individual scores. In the range of 0.21 to 0.40 g/kg, a significantly worse driving performance than the sober driving performance was evident. The ranges 0 vs. [0.01-0.20], 0 vs. [1.41-1.60] and 0 vs. [1.61-1.80] are not illustrated, because of low observation numbers in the respective BAC groups (1 to 5 observations only).

Other supplementary material

1.) E-scooter driving experience

Numbers in brackets were added and indicated the allocated driving experience score:

- How many times you have ridden an e-scooter before?
 - 2 times (1)
 - 3 to 5 times (2)
 - 6 to 10 times (2)
 - More than 10 times (3)

- On average, how often did you ride an e-scooter in the last 6 months?
 - Never (0)
 - Approximately 1 time per month (1)
 - 2-4 times per month (2)
 - 2-3 times per week (2)
 - 4 or more times per week (3)

- Approximately how long are the average trips you make using an e-scooter?
 - < 10 min (0)
 - 10-20 min (1)
 - >20 min (2)

Total score: Minimum 1 point; Maximum 8 points.

Driving experience with alcohol

- Have you ever driven an e-scooter while under the influence of alcohol?
 - Yes
 - No

Habitual alcohol consumption

Subjects were also asked to complete an Alcohol Use Disorders Identification Test (AUDIT) [27, 28]. This test contains ten questions dealing with alcohol use, alcohol dependence, and

alcohol abuse. An AUDIT score of 8 points or more indicates a suspected alcohol-related disorder.

2.) The following demerits (in brackets) were allocated:

a) Demerits for coordinative errors

- Narrowing track
 - o line touching (1)
 - o line crossing (2)
 - o line crossing without reentering (5)
- Gate passage
 - o pole touching (1)
 - o touching pole holder (1)
 - o knocking over a pole (3)
 - o skipping gate (3)
- Gravel bed
 - o entering diagonally (1) per wheel
 - o pushing e-scooter into the gravel bed (1)
 - o pushing e-scooter while inside the gravel bed (1)
 - o sliding out of gravel bed (1)
- Driving in circles counterclockwise
 - o touching line (front wheel) (1)
 - o crossing line (front wheel) (2)
 - o overrunning line (front and rear wheel) (3)
 - o each exceeding or forgotten lane (1)
 - o demerits for times out of lane
 - measured from the point of time when the front wheel the left lane until the front wheel reentered the lane.
 - total time for obstacle/number of laps
 - percentage of time out of lane calculated per lap
 - 100% = 3 points, e.g., 10% = 0.3 points
 - all points rounded off at the end

- Turning with timely directional indication
 - o no sign (2)
 - o short-cutting/avoiding the track (2)
- Thresholds
 - o incomplete passing (1) per wheel
 - o skipping (3) per threshold
- Alley (Days 1 and 2)
 - o touching barrel (1)
 - o touching pole holder (1)
 - o barrel collision (4)
 - o skipping alley (5)
- Alley (Days 3 and 4)
 - o touching barrel (1)
 - o barrel collision (4)
 - o skipping alley (5)
- Slalom ride with decreasing spacing
 - o touching cone (1) per wheel
 - o running over cone (2) per wheel
 - o skipping cone (2) per wheel
 - o skipping whole slalom ride with decreasing spacing (5)
- Speed track (Days 1 and 2)
 - o touching stop line (1)
 - o stopping too early (1)
 - o overrunning the stop line (2)
- Speed track (Days 3 and 4)
 - o touching line (1)
 - o foot not put on the ground (1)
 - o incomplete stopping (1)
 - o stopping too early (1)
 - o overrunning stop line while breaking with one wheel (2)
 - o overrunning stop line with both wheels (3)
- Additional could be added for each obstacle, if
 - o test subjects stabilized their drive with one foot on the ground (1)

- descended from the e-scooter (2)

b) Demerits for cognitive errors

- Alley (Days 3 and 4)
 - reaction to light signal not correct (3)
- Was the word remembered correctly?
 - yes
 - no (no demerits allocated, separate evaluation).

c) Demerits from medical tests

Romberg Test

- safe, 0
- slight uncertainty (1)
- strong swaying (2)
- termination by the test subject (3)
- termination by the examiner (3)

Unterberger Test

- deviation in degrees $>45^\circ$; $\leq 45^\circ$
- safe (0)
- slight uncertainty (1)
- strong swaying (2)
- termination by the test subject (3)
- termination by the examiner (3)

Allocated points for the determination of the driving experience score and AUDIT score are mentioned separately.

Danksagung

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Benno Hartung, der mich im Verlauf dieser Arbeit und der Jahre kontinuierlich unterstützt, gefördert und motiviert hat. Durch Ihn wurde für mich nochmals verdeutlicht und bestätigt, wie wichtig eine gute Betreuung solcher Arbeiten ist.

Ebenso bedanke ich mich herzlich bei Herrn Prof. Thomas Daldrup, der ebenfalls durchgehend bei der Durchführung der Studie mit seinem erfahrenen Fachwissen für konstruktive Kritik und Ratschläge zur Seite stand.

Dasselbe gilt für Herrn Michael Lau. Vielen Dank für Ihre fachliche Expertise, enorme Mitarbeit und jederzeit die Möglichkeit Fragen stellen zu dürfen.

Nicht zu vergessen, gilt mein Dank allen weiteren Beteiligten und Mitwirkenden an dieser Studie: Anne Tank, Rüdiger Maatz, Irina Steiner, Annette Rickert, Holger Schwender und den Mitarbeitern des THW. Ich bedanke mich herzlich für die Mitarbeit und hilfreichen Ratschläge.

Zuletzt möchte ich meinen Eltern, meiner Schwester, Yannik und engsten Freunden danken, die mir immer zur Seite gestanden haben und mich im Verlauf der vergangenen Jahre unterstützt haben.