

THC-Grenzwert im Strassenverkehr



Schweizerische
Gesellschaft
für Rechtsmedizin
SGRM

Société Suisse
de Médecine Légale
SSML

Società Svizzera
di Medicina Legale
SSML

Um die missbräuchliche Handhabung von Drogen im Strassenverkehr und das damit verbundene bedeutende Risiko für die Verkehrssicherheit zu sanktionieren, gibt es unterschiedliche gesetzgeberische Vorgehensweisen bei der Beurteilung der Fahrfähigkeit:

Wirkungs-
orientierter Ansatz

per se-Ansatz

Nulltoleranz-Ansatz

Dabei kommt substanzspezifischen Grenzwerten eine zentrale Bedeutung zu. Für THC (Tetrahydrocannabinol, psychoaktiver Cannabis-Inhaltsstoff) wurden dazu relevante substanzspezifischen Fakten und Literaturdaten in folgenden Kapiteln zusammengestellt:

- Allgemeines zu Cannabis und Cannabis-Inhaltsstoffen
- Übersicht THC-Grenzwerte im Strassenverkehr
- Internationale Regelungen im Vergleich
- Pharmakologische Grundlagen von THC
- Cannabis-Konsum und Fahrfähigkeit – Warum fällt die Beurteilung so schwer?

Fazit

Zusammenfassend kann daraus gefolgert werden, dass keine fundierten Aussagen zu Fahrfähigkeit und THC-Grenzwerten abgeleitet werden können und deshalb aus wissenschaftlichen Überlegungen kein THC-Grenzwert – in Analogie zur gut etablierten und wirkungsbasierten Regelung beim Fahren in angetrunkenem Zustand – abgeleitet werden kann.

Ausblick

Im Ausblick werden – ausgehend von den drei obgenannten Ansätzen – verschiedene Überlegungen im Zusammenhang mit möglichen politisch motivierten Legalisierungsbestrebungen diskutiert, die bei der Etablierung einer sinnvollen und praktikablen Handhabung von THC und Fahrfähigkeit hilfreich und wesentlich sein können – dies immer unter der Prämisse, dass keine Abstriche bei der Sicherheit im Strassenverkehr toleriert werden können.

Der Einfluss berauschender Mittel im Strassenverkehr stellt ein bedeutendes Risiko für die Verkehrssicherheit dar. Um dieses abzuwehren und die missbräuchliche Handhabung zu sanktionieren, gibt es unterschiedliche gesetzgeberische Ansätze. Für Fahren unter Alkoholeinfluss sind gesetzliche Blut- bzw. Atemluftgrenzwerte festgelegt (Verordnung der Bundesversammlung für Alkoholgrenzwerte im Strassenverkehr [1]: Art. 1 Angetrunkenheit (geahndet als «Übertretung») bzw. Art. 2 Qualifizierte Alkoholkonzentration (geahndet als «Vergehen»). Beim Fahren unter Drogen kommen drei unterschiedliche Ansätze zur Anwendung: Wirkungs-orientierter Ansatz, per se-Ansatz und Nulltoleranz-Ansatz. Während der Wirkungs-orientierte Ansatz den Beweis braucht, dass der Fahrzeugführende im Zeitpunkt des Ereignisses in seiner Fahrfähigkeit eingeschränkt war, muss für die beiden anderen Ansätze biologisches Material (üblicherweise Blut, allenfalls auch Oral fluid) sichergestellt und auf den entsprechenden Wirkstoff untersucht werden. Beim per se Ansatz gilt der Fahrzeugführende als fahruntfähig, wenn der zu beurteilende Messwert über einem festgelegten wirkungsabhängigen Grenzwert liegt, so

wie das für die Beurteilung bei Fällen mit Fahren unter dem Einfluss von Alkohol zur Anwendung kommt. Beim Nulltoleranz-Ansatz wird der sichere Nachweis der Wirksubstanz im festgelegten biologischen Material mit Fahrunfähigkeit gleichgesetzt, unabhängig vom gemessenen Konzentrationswert; um Rechtsgleichheit sicher zu stellen, kann zusätzlich ein analytisch-technischer Grenzwert definiert werden. Dieser Ansatz gilt in der Schweiz seit 2005 für den Wirkstoff 9-Tetrahydrocannabinol (THC) mit einem Grenzwert von 1.5 Mikrogramm/Liter im Blut bzw. 15 Mikrogramm/Liter für jeden der Wirkstoffe Morphin, Kokain, Amphetamin, Methamphetamin, MDEA und MDMA [2]. Zusätzlich ist zu beachten, dass ein Analysenmesswert immer mit einer Messunsicherheit behaftet ist. Als standardisierte Messunsicherheit kommt bei den üblicherweise verwendeten Analysenverfahren zum quantitativen Nachweis von Drogen einmalig ein Wert von 30 % zur Anwendung.

Da aktuell verschiedene politische Vorstösse im Zusammenhang mit einer möglichen Legalisierung von Cannabis hängig sind, hat die SGRM vom ASTRA den Auftrag erhalten für die Erstellung eines Berichtes betreffend Festlegung eines oder mehrerer THC-Grenzwerte im Strassenverkehr. Ergänzend wurde festgehalten, dass der Bericht insbesondere den Stand der Forschung aufzeigen soll und erläutern soll, wie ein Wirkungsgrenzwert festzulegen wäre resp. was es dazu allenfalls aus Sicht der Wissenschaft noch bräuchte.

Die SGRM hat zur Beantwortung dieser Anfrage eine Arbeitsgruppe benannt. Diese setzt sich aus ASTRA-Sachverständigen¹ zusammen und repräsentiert die verschiedenen Rechtsmedizinischen Institute der Schweiz.

In den folgenden Abschnitten ist die aktuelle Datenlage zusammengestellt, um aufzuzeigen, inwieweit ein Zusammenhang zwischen analytisch festgestellter THC-Blutkonzentration und Wirkung von Cannabis auf die Fahrfähigkeit wissenschaftlich begründbar und verallgemeinerbar ist. Die nachfolgend zusammengestellten Überlegungen basieren allesamt auf dem aktuellen Stand wissenschaftlicher Studien und Erhebungen; der Legalisierungsstatus von Cannabis resp. die Änderung desselben beeinflusst diese Aussagen nicht.

¹ Fachtitel-Träger Forensischer Toxikologe SGRM und Fachärzte Rechtsmedizin mit Zusatztitel Verkehrsmedizin

Allgemeines zu Cannabis, Cannabis-Inhaltsstoffe und Analytik

Cannabis ist ein Produkt aus Pflanzen der Gattung Cannabis. Die Pflanze enthält über 100 Cannabinoide, welche nur in der Pflanze Cannabis sativa vorkommen. Über die meisten Cannabinoide ist wissenschaftlich wenig bekannt und die Zusammensetzung und der Gehalt einzelner Cannabinoide können je nach Art und Aufzucht sehr stark variieren. Die wichtigsten Inhaltsstoffe sind zwei Pflanzensäuren, nämlich Tetrahydrocannabinolsäure (THCA) und Cannabidiolsäure (CBDA). Diese sind nicht psychoaktiv und müssen erst durch Hitzeeinwirkung in Tetrahydrocannabinol (THC) bzw. Cannabidiol (CBD) umgewandelt werden. Dies kann durch Rauchen, Vaping (d. h. Rauchen mit einem Verdampfer wie z. B. einer E-Zigarette) oder aber auch durch Backen (sog. Edibles – aus dem englischen edible = essbar) geschehen [3, 4].

Für diese Veröffentlichung beschränken wir uns auf die Substanz THC. CBD gilt ebenfalls als psychoaktiv. Bislang gibt es aber nur wenige wissenschaftliche Studien zum Einfluss von CBD auf die Fahrfähigkeit resp. zur Beurteilung der Einschränkung der Fahrfähigkeit unter CBD-Einfluss. Zur Fahrfähigkeit unter THC-Einfluss gibt es zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen. In einem aktuellen Review/ Meta-Analyse-Artikel wird festgestellt, dass Cannabis wie Alkohol auch die Fahrfähigkeit beeinträchtigt und dass die Kombination beider Substanzen noch gefährlicher ist als der Konsum der Einzelsubstanzen [5]. Daraus kann aber nicht abgeleitet werden, dass automatisch in Analogie zum Alkohol vergleichbare Grenzwerte definiert werden können. Ausführlich wird hierauf im Abschnitt «Pharmakologische Grundlagen von THC» bzw. «Cannabis-Konsum und Fahrfähigkeit – warum fällt die Beurteilung so schwer» eingegangen.

Analyse von THC und THC-Metaboliten

Die Analyse der wichtigsten Cannabinoide (THC, 11-OH-THC, THC-COOH) in Blut, Serum, Urin, Oral fluid etc. wird heute routinemässig von spezialisierten, forensisch-toxikologischen Laboratorien durchgeführt. Unter Verwendung der Gaschromatographie oder Flüssigchromatographie vor allem gekoppelt mit Massenspektrometrie (GC-MS oder LC-MS/MS) können signifikante und relevante Konzentrationen auch in tiefen Wertebereich sicher nachgewiesen werden [6 – 9]. Technologische und methodische Verbesserungen der THC-Analytik in den obgenannten biologischen Matrices haben zu einer deutlichen Erhöhung der Nachweisempfindlichkeit und der Qualität für beweissichere quantitative Analysenergebnisse geführt. Auf Grund dieser Entwicklung könnte der analytisch-technische Grenzwert für einen sicheren Nachweis von THC in den vorgenannten Probenmaterialien heute substanziell gesenkt werden.

Die auf immunologischen Reaktionen basierenden Techniken, die häufig für Screeningtests in Urin und Speichel (Oral fluid) verwendet werden, können nur auf das Vorhandensein von Cannabinoiden in einer biologischen Probe hindeuten. Keinesfalls ermöglichen diese Techniken eine eindeutige Identifizierung oder Quantifizierung von Cannabinoiden. Für eine rechtskräftige Anwendung ist daher eine Bestätigungsanalyse auf Basis der obgenannten Methodik (Chromatographie gekoppelt mit Massenspektrometrie) zwingend erforderlich. Für eine Beurteilung der Fahrfähigkeit ist immer eine forensisch-toxikologische Analyse einer Blutprobe notwendig – unabhängig vom Ansatz für die Feststellung der Beeinträchtigung der Fahrfähigkeit. Diese Analysen erfolgen in Laboratorien, welche

über eine ASTRA-Anerkennung verfügen und nach ISO EN 17025 für forensisch-toxikologische Zwecke akkreditiert sind.

Das Ergebnis quantitativer Analysen ist immer eine Konzentrationsangabe. In diesem Bericht verwenden wir ausschliesslich die Konzentrationsangabe in der Einheit $\mu\text{g/L}$ (Mikrogramm pro Liter). Diese entspricht der Angabe in ng/mL (Nanogramm pro Milliliter), die ebenfalls häufig in Veröffentlichungen verwendet wird.

Umrechnung von Vollblut zu Serum/Plasma

In der Schweiz, wie in den meisten anderen Ländern auch, wird die Messung von Cannabinoiden zur Beurteilung der Fahrfähigkeit in einer Vollblut-Probe durchgeführt. Die Messung kann mit gleichen technologischen Ansätzen auch im Serum durchgeführt werden. Dies wird – Stand heute – einzig noch in Deutschland angewendet. Als Serum oder Plasma bezeichnet man die flüssige Fraktion des (Voll-)Blutes nach Abtrennung von Blutzellen. Die Ergebnisse der Cannabinoid-Konzentration in Vollblut oder Serum bzw. Plasma sind jedoch aufgrund der unterschiedlichen Verteilung der Cannabinoide zwischen den Blutzellen und den flüssigen Blutbestandteilen für Vollblut und Serum bzw. Plasma nicht identisch. Um die Vergleichbarkeit von Mess- oder Grenzwerten in Vollblut und Serum bzw. Plasma herzustellen, müssen Serum-/Plasma- zu Vollblut-Konzentrationsverhältnisse berücksichtigt werden, die für jede Substanz unterschiedlich sind. Diese Verhältniszahlen liegen für THC in der Grössenordnung von 1.5 (1.4 – 1.9), für 11-OH-THC bei 1.6 (1.5 – 1.8) und für THC-COOH bei 1.7 (1.4 – 2.2) [10].

Übersicht THC-Grenzwerte im Strassenverkehr und zugehörige Regelungen im internationalen Vergleich

Der Gesetzgeber hat mehrere Optionen, um die Beeinträchtigung der Fahrfähigkeit aufgrund des Konsums von psychoaktiven Substanzen zu bewerten und mit Konsequenzen zu belegen. Folgende drei Ansätze lassen sich feststellen [11]:

1. Wirkungsorientierter Ansatz der beeinträchtigten Fahrfähigkeit (engl. Effect-based, impairment law)

Der Konsum einer Substanz kann mit dem Fahren unvereinbar sein, aber die Situation muss im Einzelfall faktenbasiert beurteilt werden. Beim Wirkungs-orientierten Ansatz muss der Nachweis erbracht werden, dass der Fahrzeuglenkende zum Zeitpunkt des Ereignisses in seiner Fahrfähigkeit eingeschränkt war; dies erfolgt i. d. R. mit der Erstellung eines aufwändigen sogenannten «Drei-Säulen-Gutachtens». Für diese Beurteilung der Fahrfähigkeit berücksichtigt der Gutachter die Feststellungen der Polizei, die Ergebnisse der ärztlichen sowie der chemisch-toxikologischen Untersuchung und begründet die daraus gezogenen Schlussfolgerungen [12] (Art. 16 Abs. 2 SKV). Aktuell kommt dieser Ansatz im schweizerischen Rechtssystem beispielsweise in Fällen der Begutachtung der Fahrfähigkeit nach Einnahme von Schlaf- und Beruhigungsmitteln (z. B. Benzodiazepinen und Z-Hypnotika) oder zentralwirkenden Schmerzmitteln (z. B. Opioiden wie etwa Tramadol oder Oxycodon) zur Anwendung. Dieser aufwändige Ansatz ist bei hoher Prävalenz (wie z. B. für Alkohol oder THC) kaum durchführbar.

2. per se-Ansatz

Ein Grenzwert wird im Gesetz festgelegt, wobei ein Konzept der Zweifelsfreiheit der Fahrfähigkeit zugrunde liegt. Der Gesetzgeber entscheidet über einen wirkungsabhängigen Grenzwert, ab dem er generell ohne weitere Befundewie z. B. festgestellte Fahrauffälligkeiten davon ausgeht, dass der Fahrer fahrunfähig ist. Aktuell kommt dieser Ansatz im schweizerischen Rechtssystem beispielsweise in Fällen der Begutachtung der Fahrfähigkeit infolge Trunkenheit zur Anwendung (z. B. 0.50 ‰ Blutalkohol [1]).

3. Nulltoleranz-Ansatz

- a. Der Konsum einer Substanz wird als mit dem Fahren unvereinbar definiert. Der Nachweis des Konsums reicht aus, um zu folgern, dass der Fahrer fahrunfähig ist, ohne dass ein Grenzwert gesetzlich definiert wird. Im schweizerischen Rechtssystem gibt es hierfür kein Beispiel.
- b. Der Konsum einer Substanz wird als mit dem Fahren unvereinbar definiert. Der Gesetzgeber entscheidet sich zusätzlich für die Festlegung eines analytisch-technischen Grenzwertes, um die Entscheidung über den Begriff des Vorhandenseins der Substanz im Körper, der rechtsgenügend den Substanzkonsum und damit die Fahrunfähigkeit beweist, zu definieren und zu harmonisieren. Aktuell kommt dieser Ansatz im schweizerischen Rechtssystem beispielsweise in Fällen der Begutachtung der Fahrfähigkeit in Bezug auf sog. Grenzwertsubstanzen (z. B. 1.5 µg/L THC im Blut) zur Anwendung.

In Bezug auf die Beurteilung der Fahrfähigkeit im Zusammenhang mit Cannabis-Konsum ist festzustellen, dass in den verschiedenen Ländern, welche entsprechende Gesetze erlassen haben, alle drei Ansätze (Impairment, per se, Nulltoleranz) verwendet werden. Einige Beispiele sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt [13 – 16]. Auf den Legalisierungsstatus von Cannabis in den einzelnen Ländern wird dabei nicht eingegangen.

Im Detail kann weiter festgestellt werden, dass – unabhängig vom Ansatz – in den meisten Ländern kein Grenzwert festgelegt ist. Ausnahmen sind mit einem per se-Ansatz verschiedene europäische Länder wie Belgien, Dänemark, Irland und Luxemburg mit $1\ \mu\text{g}/\text{L}$ im Vollblut, Tschechische Republik und UK mit $2\ \mu\text{g}/\text{L}$ im Vollblut. Einige Staaten der USA haben individuelle Grenzwerte ($2 - 5\ \mu\text{g}/\text{L}$, keine Probenmatrix-Angabe) und die Niederlande haben ein Impairment-orientiertes System mit variablen Grenzwerten. Ebenfalls ein Ansatz mit verschiedenen Grenzwerten hat Norwegen, wobei diese verschiedenen Werte mit unterschiedlichen Sanktionen einhergehen.

Land	Ansatz	Probe	Gesetzlicher Grenzwert	Empf. Analyt. Grenzwert	Bemerkungen
Australien	Nulltoleranz	Oral fluid/Vollblut			
Belgien	per se	Vollblut	1 µg/L		
Dänemark	per se	Vollblut	1 µg/L		
Deutschland	Nulltoleranz	Serum		1 µg/L	
Estland	Nulltoleranz	Vollblut	nein		
Finnland	per se	Vollblut	1 µg/L		
Frankreich	Nulltoleranz	Oral fluid/Vollblut	nein		
Irland	per se	Vollblut	1 µg/L		
Italien	Nulltoleranz	Vollblut	nein		
Kanada	Impairment			2 µg/L	
Kroatien	Impairment	Vollblut	nein		
Lettland	Nulltoleranz	Vollblut	nein		
Litauen	Nulltoleranz	Vollblut	nein		
Luxemburg	per se	Vollblut	1 µg/L		
Malta	Impairment		nein		
Niederlande	Impairment		1 µg/L; 3 µg/L		Mischkonsum; nur THC
Norwegen	per se	Vollblut	1.3; 3; 9 µg/L		Erhöhung der Sanktionen
Österreich	Impairment	Vollblut	nein		
Polen	Nulltoleranz	Vollblut	nein		
Portugal	Nulltoleranz	Vollblut	nein		
Rumänien	Nulltoleranz	Vollblut	nein		
Schweden	Nulltoleranz	Vollblut	nein		
Schweiz	Nulltoleranz	Vollblut	1.5 µg/L		
Slowakei	Nulltoleranz	Vollblut	nein		
Slowenien	Nulltoleranz	Vollblut	nein		
Spanien	Nulltoleranz	Oral fluid/Vollblut	nein		
Tschechische Rep.	per se	Vollblut	2 µg/L		
UK	per se	Vollblut	2 µg/L		
Ungarn	Impairment		nein		
Uruguay	Nulltoleranz	Vollblut	nein		
USA	Impairment		nein		Andere
USA	Nulltoleranz		nein		AZ, DE, GE, IL, IN, IO, MI, OK, PE, RI, SD, UT, WI
USA	per se		2 - 5 µg/L		IL, MO, NV, OH, WA
USA	per se			5 µg/L	CO
Zypern	Impairment	Vollblut	nein		

THC-Grenzwert

Pharmakologische Grundlagen von THC

Die wissenschaftliche Grundlage für die Diskussion über wirkungsbasierte Grenzwerte sind in den pharmakologischen Eigenheiten der verschiedenen Wirkstoffe zu finden. Diese substanzspezifischen, pharmakologischen Parameter können in zwei Teilgebiete unterteilt werden, nämlich die Pharmakodynamik, d. h. die Wirkungen einer Substanz im Körper, und die Pharmakokinetik, d. h. den zeitlichen Verlauf der Nachweisbarkeit der Substanz im Körper. Pharmakologische Parameter beschreiben Substanzeigenschaften unabhängig von der Fragestellung, in deren Zusammenhang sie diskutiert werden.

THC wirkt über das sog. Endocannabinoid-System, eines der wichtigsten physiologischen Systeme des Körpers. Zentrale Bestandteile dieses Systems sind die Cannabinoid-Rezeptoren CB1 und CB2 sowie körpereigene Endocannabinoide, die an diese Rezeptoren binden und damit aktivieren. Wird Cannabis konsumiert, bindet der Wirkstoff THC ebenfalls an diesem System und entfaltet so seine vielfältigen Wirkungen, die u. a. mit kognitiven und psychomotorischen Einschränkungen und damit mit der Verminderung der Fahrfähigkeit einhergehen [17].

Um die Studien zu THC und seinen Wirkungen auf die Fahrfähigkeit und insbesondere auch deren Einschränkungen zu verstehen, bedarf es einiger detaillierter Kenntnisse der Pharmakokinetik von THC, d. h. zum Verhalten von THC im Körper des Menschen. Dabei unterscheidet sich der Verlauf der Konzentration von THC im Körper deutlich nach der Art der Anwendung. Rauchen stellt allgemein eine sehr effektive Anwendungsart für Drogen dar. Nach dem Rauchen (klassisch oder per Vaping) steigt die THC-Konzentration im Blut rasch an. Bereits nach 3 bis 10 Minuten sind die maximalen Blutkonzentrationen erreicht. Diese sind bei geübten Rauchern noch höher als bei Gelegenheitsrauchern,

zudem können geübte Cannabis-Konsumenten die erwünschte Wirkung über das Konsumverhalten individuell steuern. Bei peroraler Aufnahme (z. B. nach Verzehr von Cannabis-Cookies) dauert es länger (bis zu 2 Stunden) bis die maximalen Blutkonzentrationen erreicht werden, die auch deutlich niedriger sind als nach dem Rauchen (anzumerken ist dabei, dass in der Schweiz oraler Konsum derzeit höchstens von untergeordneter Bedeutung ist). Grund dafür sind die hohe Lipophilie (Fettlöslichkeit) von THC, die damit einhergehende schlechte Bioverfügbarkeit und der sogenannte First-Pass-Effekt. Letzterer beschreibt die Tatsache, dass Substanzen, die peroral aufgenommen werden, zuerst durch die Leber müssen, bevor sie in den Körper aufgenommen werden. In der Leber werden sie dann teilweise bereits zu unwirksamen Metaboliten verstoffwechselt.

Die hohe Lipophilie von THC hat einen fundamentalen Unterschied zur Pharmakokinetik von Alkohol zur Folge. Alkohol ist vollständig wasserlöslich, THC nicht. Nach Aufnahme verteilt sich der Alkohol rasch im gesamten Körperwasser, was etwa 60 – 70 % der gesamten Körpermasse ausmacht. Nach dieser Verteilung ins Körperwasser wird der Alkohol mit konstanter Geschwindigkeit abgebaut. Diese Besonderheit im zeitlichen Verlauf der Alkoholkonzentration im Körper macht eine Rückrechnung der Blutalkoholkonzentration auf den Ereigniszeitpunkt möglich. Bei allen anderen Drogen, und insbesondere bei THC, findet kein konstanter Abbau statt und deshalb ist eine solche Rückrechnung unmöglich. Der Grund für diesen nicht-konstanten Abbau ist insbesondere in der Tatsache begründet, dass THC eben sehr gut fettlöslich (lipophil) aber wenig wasserlöslich (hydrophil) ist. THC verteilt sich deshalb rasch aus dem wässrigen Blut in verschiedene gut durchblutete Gewebe (Lunge, Herz, Gehirn und Leber) und danach weiter in weniger

gut durchblutete Gewebe wie z. B. dem Fettgewebe. Diese Umverteilung führt dazu, dass die THC-Konzentration im Blut nach dem Erreichen der Maximalwerte sehr rasch abnimmt, die Wirkungsintensität im gleichen Zeitfenster sich dabei aber nur geringfügig ändert. Zusätzlich resultiert aus dieser Verteilung in andere (sog. tiefere) Gewebe die Problematik der langen Nachweisbarkeit von THC, da es über längere Zeit wieder zu einer Rückverteilung ins Blut mit entsprechender Nachweisbarkeit kommen kann (in der Fachliteratur spricht man von residualem THC). Der Verlauf der THC-Konzentration im Blut ist mehrphasig, was – wie bereits erwähnt – eine Rückrechnung auf den Ereigniszeitpunkt verunmöglicht, und dieser Verlauf hängt nicht mit dem zeitlichen Verlauf der THC-Wirkung nach Cannabis-Einnahme zusammen.

THC wird hauptsächlich zu 11-Hydroxy-THC (noch psychoaktiv wirksam) und zur pharmakologisch inaktiven THC-Carbonsäure verstoffwechselt. Letztere wird dann noch mit der körpereigenen Glucuronsäure zum besser wasserlöslichen Konjugat umgesetzt und über Fäzes und Urin ausgeschieden [17].

Die Pharmakokinetiken von THC und Alkohol, d. h. die zeitabhängigen Konzentrationsverläufe dieser beiden Wirkstoffe im Körper, sind aus wissenschaftlich belegten, substanzspezifischen Fakten fundamental verschieden. Der spezielle Verlauf der THC-Konzentration im Körper mit konsumformabhängiger Anflutung gefolgt von schneller Verteilung aus dem Blut in verschiedene Gewebe wie z. B. ins Gehirn und der oben beschriebenen Rückverteilung aus dem Gewebe ins Blut macht die Festlegung pharmakologisch begründeter, wirkungsbasierter Grenzwerte unmöglich. Bei geringen Konzentrationen im Blut

kann trotzdem eine Wirkung (THC im Gehirn!) vorliegen. Umgekehrt kann aufgrund der späten Umverteilung eine messbare Blutkonzentration vorliegen, ohne dass eine akute Wirkung feststellbar ist. Diese Besonderheit der THC-Pharmakokinetik macht klar, dass ein THC-Wirkgrenzwert wissenschaftlich begründet nicht festgelegt werden kann.

Cannabis-Konsum und Fahrfähigkeit – Warum fällt die Beurteilung so schwer?

Dass der Konsum von Cannabis die Fahrfähigkeit vermindern kann, ist sicher unbestritten. In welchem Masse er das tut, und wie die Verminderung der Fahrfähigkeit im Vergleich zum Konsum von Alkohol ausfällt, wird kontrovers diskutiert. Bei der Vielzahl der Studien, die bereits zum Thema erschienen sind, würde man meinen, dass eine objektive Aussage doch möglich sein sollte. Warum das nicht so einfach ist, soll hier kurz dargestellt werden.

Zur Erarbeitung von Grundlagen für Aussagen zu Wirkung im Strassenverkehr und Substanzkonsum kommen zwei verschiedene Studiendesigns zur Anwendung.

Epidemiologische Studien sind Beobachtungsstudien am Menschen unter realen Umweltbedingungen, z. B. indem Daten aus Verkehrsunfällen etc. statistisch ausgewertet werden. Gerade beim Konsum von Cannabis und der Teilnahme am Strassenverkehr sollte das ein guter Ansatz sein. Im Gegensatz dazu kann in experimentellen Studien, in denen Versuchspersonen unter kontrollierten Laborbedingungen einer Exposition (Cannabis-Konsum) ausgesetzt werden, die reale Situation nur unzureichend abgebildet werden. Tatsächlich haben beide Studientypen ihre Nachteile, insbesondere wenn es um die Einschätzung der Beeinträchtigung der Fahrfähigkeit durch Cannabis geht.

Epidemiologische Studien

In der Schweiz und in vielen anderen Industrieländern ist THC neben Alkohol die am häufigsten konsumierte Freizeitdroge [18]. Der International Council on Alcohol, Drugs & Traffic Safety (I-CADTS) hat in einer Übersicht die Prävalenz von Cannabis bzw. Alkohol in Fahrern, die in einen Verkehrsunfall verwickelt waren, zusammengefasst [19]. In Europa erreichte die Prävalenz für Cannabis dabei bis zu 9.9 % (Alkohol bis 24.5 %), in Nordamerika bis 32.7 % (Alkohol bis 31.8 %) und in Australien bis 15.5 % (Alkohol bis 31.8 %). Die Unterschiede in den verschiedenen Studien lassen sich durch kulturelle Unterschiede, unterschiedliche gesetzliche Regelungen oder auch unterschiedliche Studiendesigns (Unfälle allgemein, leichte/schwere/tödliche Verletzungen) erklären. Mit steigender Prävalenz des Konsums z. B. durch liberale Gesetzgebungen (Kanada, viele Staaten der USA) steigt auch die Prävalenz (Häufigkeitsrate) des THC-Nachweises bei Verkehrsunfällen deutlich an und erreicht zum Teil die Prävalenzwerte von Alkohol (Nordamerika) [19].

Wie lässt sich aus solchen Studiendaten ein risikobehaftetes Verhalten im Sinne der Fahrfähigkeit für Cannabiskonsumenten abschätzen? Um die Probleme von Einzelstudien zu umgehen, werden sog. Meta-Analysen erstellt. Dabei werden die Ergebnisse mehrerer epidemiologischer Studien zur selben Fragestellung zusammengefasst und daraus ein aussagekräftigeres Ergebnis errechnet. Eine solche Meta-Analyse kommt zum Schluss, dass das durchschnittliche Risiko in einen Unfall verwickelt zu werden nach Cannabis-Konsum um 30 bis 40 % erhöht ist, was bedeutet, dass THC-positive Fahrer etwa

1.3- bis 1.4-mal häufiger in einen Unfall verwickelt sind als THC-negative Fahrer (sog. Odds ratio) [20, 21]. Andere Studien betrachten nicht nur das Unfallgeschehen allein, sondern berücksichtigen auch die Schuld am Unfall. Eine australische Studie mit 5000 Teilnehmern ermittelte dafür eine Odds ratio von 1.9 für THC-positive Fahrer [22]. Hier und in weiteren Studien wurde festgestellt, dass die Kombination von THC und Alkohol oder THC und Benzodiazepine zum massiven Anstieg der Odds ratio (ORs von 7-14) führte [22, 23]. Ein allfälliger THC-Grenzwert kann also nur für den Konsum von THC allein gelten, nicht aber für Mischkonsum mit anderen Wirkstoffen.

Mit den vorliegenden epidemiologischen Daten lässt sich allein noch kein THC-Grenzwert ableiten. Dafür gibt es zu viele Einschränkungen bei diesen Studien, von denen im Folgenden einige genannt werden. In Fall-Kontroll-Studien, bei der THC-positive Probanden mit THC-negativen Probanden in einer Kontrollgruppe verglichen werden, entsteht ein massiver Selektions-Bias, da die Probanden freiwillig mitmachen und THC-positive Probanden die Teilnahme deutlich häufiger verweigern. Die Frage, wer schuld am Unfall war, lässt sich oft nicht eindeutig feststellen. Wegen der raschen Abnahme der THC-Konzentration durch die Umverteilung ins Gewebe (vgl. Pharmakokinetik), wäre eine zum Ereignis (Unfall, Kontrolle, etc.) zeitnahe Blutabnahme zwingend erforderlich – in der täglichen Routine stellt sie eher die Ausnahme dar (und eine Rückrechnung ist – wie oben ausgeführt – nicht möglich). Gelegenheits-Nutzer von Cannabis zeigen insgesamt deutlichere Ausfallerscheinungen als chronische Kiffer. Sicher ist, dass höhere THC-Konzentrationen zu immer stärkeren Ausfallerscheinungen führen. Um mehr Klarheit zu schaffen, müssen auch experimentelle Studien berücksichtigt werden.

Experimentelle Studien

Experimentelle Studien zur Fahrfähigkeit nach Cannabiskonsum erlauben besser kontrollierte Bedingungen, besitzen aber auch ihre spezifischen Einschränkungen. Das Führen eines Fahrzeugs im Strassenverkehr ist eine komplexe Aufgabe, die eine ungestörte Informationsverarbeitung und funktionierende Psychomotorik voraussetzt.

In experimentellen Studien werden verschiedene Parameter, die die Fahrperformance abbilden sollen, gemessen. Am bekanntesten ist der Spurhaltetest, aber auch Reaktionszeiten, Geschwindigkeit und Abstandshaltung können zur Beurteilung der Fahrfähigkeit herangezogen werden. Meist wird der Unterschied mit und ohne Drogenbeeinflussung untersucht, da die individuelle Fahrperformance sehr unterschiedlich sein kann. Optimal wären Studien im Strassenverkehr (on-road) – allerdings gibt es hier hohe ethische und logistische Hürden. Die Realitätsnähe einer Fahrt im Fahrsimulator hängt natürlich stark vom verwendeten Fahrsimulator ab. Modernste Fahrsimulatoren mit hohem Realitätsgrad sind höchstens vereinzelt verfügbar.

Zahlreiche experimentelle Studien haben gezeigt, dass die Spurhaltefähigkeit als Indikator der Fahrfähigkeit unter Cannabis-Einfluss abnimmt. Studien mit hochmodernen Fahrsimulatoren und on-road-Studien belegen das ebenfalls [24 – 26]. Es zeigten sich auch Toleranzeffekte bei chronischen Cannabis-Konsumenten, die auch dann unauffällig waren, wenn gelegentliche Kiffer bereits fahruntfähig waren. Allerdings muss davon ausgegangen werden, dass chronische Kiffer auch mehr konsumieren, um einen Effekt zu erleben. Ein bekannter Störeffekt bei diesen Studien ist, dass Probanden unter Cannabis-Einfluss langsamer fahren und grössere Abstände halten als unbeeinflusste Fahrer. Studienergebnisse sind deshalb insgesamt oft wider-

sprüchlich. Auch hier kann eine Meta-Analyse (mehrere Studien werden zusammengefasst und daraus ein aussagekräftigeres Ergebnis errechnet) helfen. Eine sehr aktuelle Meta-Studie kommt zum Schluss, dass Cannabis (wie Alkohol auch) die Fahrfähigkeit vermindert und die Kombination beider Substanzen noch deutlich gravierender ist als der Einzelkonsum [27].

Weiter liess sich auch aus der Vielzahl von epidemiologischen und experimentellen Studien keine genaue Zeit benennen, ab der nach dem Konsum von Cannabis sicher keine Beeinträchtigung mehr feststellbar ist. Der oben beschriebene spezielle und spezifische Verlauf der THC-Konzentration im Blut nach Aufnahme von THC und die individuell unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber THC lassen solche Aussagen nicht zu. Ausserdem spielt die Art der Aufnahme (Rauchen vs. Essen) und die Dosis eine grosse Rolle. In verschiedenen Studien wird die Dauer der Beeinträchtigung zwischen 4 und 8 Stunden angegeben [26, 28] – individuelle Unterschiede sind jedoch gross.

Zusammenfassung THC- Grenzwerte und Fahrfähigkeit

Zusammenfassend darf festgehalten werden, dass die substanzspezifischen pharmakokinetischen Eigenheiten von THC und Alkohol fundamental verschieden sind. Deshalb kann aus wissenschaftlichen Überlegungen kein THC-Grenzwert in Analogie zur gut etablierten und wirkungsbasierten Regelung beim Fahren in angetrunkenem Zustand abgeleitet werden. Zur gleichen Schlussfolgerung kommt eine kürzlich publizierte Analyse, bei welcher noch deutlich detaillierter auf den Vergleich mit Daten aus Studien zu Alkohol und Fahren eingegangen wird [29]. Auch aus epidemiologischen oder experimentellen Studien oder Meta-Analysen von Studien mit unterschiedlichem Design lassen sich keine entsprechenden, fundierten Aussagen zu Fahrfähigkeit und THC-Grenzwerten ableiten.

Beurteilung von Fahreignung bei THC-Konsum

Im Gegensatz zur momentanen, ereignisbezogenen, psychisch und physisch genügenden Fähigkeit ein Motorfahrzeug im Strassenverkehr sicher zu lenken (Fahrfähigkeit) umfasst die Fahreignung die allgemeinen, zeitlich nicht umschriebenen und nicht ereignisbezogenen psychischen und physischen Voraussetzungen des Individuums zum sicheren Lenken eines Motorfahrzeugs im Strassenverkehr. Bezüglich Cannabis heisst das, dass für eine positive Fahreignungsbeurteilung kein verkehrsrelevanter Cannabismissbrauch und keine Cannabisabhängigkeit vorliegen darf (medizinische Mindestanforderungen, Anhang 1 VZV). Ein verkehrsrelevanter Missbrauch stellt ein Substanzkonsumverhalten dar, aus dem sich ein erhöhtes Risiko für ein Fahren in nicht fahrfähigem Zustand herleiten lässt. Die verkehrsmedizinische Beurteilung des Substanzkonsumverhaltens umfasst im Wesentlichen die Aspekte von Häufigkeit, Verteilung und Menge des Konsums sowie Kontrollfähigkeit bezüglich des Beginns, der Beendigung und der Menge des Konsums. Da die Cannabiswirkung und das Risiko für die Verkehrssicherheit unabhängig davon sind, ob der Erwerb oder der Konsum von Cannabis legal oder illegal sind, ändert sich für die Beurteilung der Fahreignung bei Cannabiskonsum nichts, wenn Cannabis legalisiert wird.

Der Einfluss von Medizinal-Cannabis auf die Fahrfähigkeit und Fahreignung lässt sich nicht pauschal beurteilen, da die Fahrfähigkeit und die Fahreignung auch durch die zugrundeliegende Krankheit nicht gegeben sein können.

Fahreignung

Wesentlich ist in Bezug auf Medizinal-Cannabis, dass Personen, die Cannabis aus medizinischen Gründen nach ärztlicher Verordnung einnehmen, nicht grundsätzlich fahrgeeignet sind. Die Zulassung zum motorisierten Strassenverkehr sollte eine Ausnahmegewilligung darstellen. Die Zulassung zum motorisierten Strassenverkehr sollte daher erst nach einer die Fahreignung befürwortenden verkehrsmedizinischen Begutachtung erfolgen. Bei der Beurteilung der Fahreignung sind die vorliegenden Erkrankungen, deren medikamentösen Therapien, die Indikation der Cannabisbehandlung und deren individuelle Verträglichkeit sowie das Konsumverhalten bezüglich psychotroper Substanzen (Alkohol, Cannabis und andere Drogen) im jeweiligen Einzelfall zu berücksichtigen.

Fahrfähigkeit

Nach geltendem Recht ist in der Schweiz das Führen von Motorfahrzeugen unter dem Einfluss von Cannabis (THC) verboten (sog. «Nulltoleranz» [2]). Diese «Nulltoleranz» gilt aber nicht, falls THC-haltige Präparate ärztlich verschrieben sind. In diesem Fall muss die Fahrfähigkeit der Betroffenen individuell beurteilt werden. Der verschreibende Arzt resp. die verschreibende Ärztin hat im Rahmen der sog. Sicherungsaufklärung die Betroffenen über ihre Fahrfähigkeit unter einer THC-Medikation aufzuklären. Der Motorfahrzeuglenker ist schlussendlich selber dafür verantwortlich, nur in fahrfähigem Zustand am motorisierten Strassenverkehr teilzunehmen. Kommt es zu Vorfällen im Strassenverkehr, die eine Fahrfähigkeitsbegutachtung nach sich ziehen, ist wie auch bei anderen Medikamenten mit einem 3-Säulen-Gutachten, unter Einbezug der Beobachtungen der Polizei, der Untersuchungsbefunde des Arztes und der forensisch-toxikologischen Analyseresultate zur Fahrfähigkeit Stellung zu nehmen. Sofern bekannt, finden auch fahrfähigkeitsrelevante Auswirkungen der Grunderkrankung(en) bzw. anderer verordneter Medikamente Eingang in die Fahrfähigkeitsbeurteilung.

CBD

Legale CBD-haltige Produkte können < 1 % THC enthalten, was bei entsprechendem Gebrauch zu einer Überschreitung des ASTRA-Grenzwertes für THC im Blut führen kann. Wenn diese Präparate nicht ärztlich verschrieben werden, findet bei THC-Nachweis im Blut derzeit noch die Nulltoleranz-Regelung Anwendung.

Die Möglichkeit einer Einführung eines Wirkungsgrenzwertes für THC im Blut, z. B. analog dem 0.5‰ Grenzwert für Alkohol, ist aus wissenschaftlichen Gründen nicht gegeben. Auch aufwändige neue Forschungsstudien werden an dieser Tatsache – die von den verschiedensten Fachleuten und Institutionen bestätigt wird – nichts ändern. Da im Zusammenhang mit politisch motivierten Legalisierungsbestrebungen aber auch eine in der Praxis sinnvolle und praktikable Handhabung von THC und Fahrfähigkeit gefordert wird – und dies ohne Abstriche bei der Sicherheit im Strassenverkehr –, sollen nachstehend Überlegungen zu den drei Ansätzen diskutiert werden.

Wirkungs-orientierter Ansatz:

Beurteilung der Fahrfähigkeit nach THC-Konsum für ein Einzelereignis unter Einbezug aller Aspekte und Beobachtungen (Situation, Beurteilung Polizei und untersuchender Arzt, Analysenergebnis Blutuntersuchung) in einem sogenannten Drei-Säulen-Gutachten ist immer möglich. Der entsprechende Aufwand ist allerdings als zu gross zu benennen, insbesondere bei der bei einer (Teil-)Legalisierung zu erwartenden weiter steigenden Prävalenz von Cannabis im Strassenverkehr. Im Zusammenhang mit medizinisch verschriebenem Cannabis ist dieser Ansatz aber unbedingt anzuwenden, damit die Gesamtsituation adäquat beurteilt werden kann.

Nulltoleranz mit technischem Grenzwert

Dieser restriktive Ansatz besteht darin, dass die Fahrfähigkeit bei rechtsgenügendem Nachweis von THC in Blut (über Grenzwert) gegeben sei. Auf Grund technischer Entwicklungen der analytischen Messverfahren könnte der derzeit gültige Grenzwert – wie auch die Messunsicherheit – nach unten korrigiert werden. Unseres Erachtens wäre eine solche Verschärfung jedoch – insbesondere auch im Kontext einer (Teil-) Legalisierung von Cannabis – nicht zielführend. Historisch ist der Nulltoleranz-Ansatz eng verknüpft mit der Illegalität einer Wirksubstanz.

per se-Ansatz mit Grenzwert:

Diesem Ansatz liegt – wie bereits oben erwähnt – das Konzept der Zweifelsfreiheit der Fahrfähigkeit zugrunde. In einer breitabgestützten Studie hat ein Autorenteam aus Deutschland in einer evidenz-basierten Analyse einen Grenzwert vorgeschlagen, der ein naheliegendes Risiko einer verkehrssicherheitsrelevanten Beeinträchtigung ausschliessen soll [30] und damit eine Herangehensweise gewählt, welche dem methodischen Ansatz eines per se-Grenzwertes sehr nahekommt. Die Autoren dieser Studie definierten – basierend auf Literaturdaten – einen Serum-Grenzwert. Dieser Wert beruht auf einem Startwert von 2.0 µg/L THC im Blutserum. Dazu wurde aus pharmakokinetischen Überlegungen ein Korrekturwert von 0.5 µg/L addiert, um sogenanntes residuales THC zu berücksichtigen. Ausgehend von diesem gut dokumentierten und nachvollziehbaren Datensatz kann ein entsprechender Vollblut-Grenzwert berechnet werden. Wendet man für die Umrechnung des Serum-Grenzwertes von 2.5 µg/L (2.0 plus 0.5 µg/L) den Median-Wert des in der Fachliteratur publizierten Bereichs [10] von 1.5 an, so resultiert ein Vollblut-Grenzwert von gerundet 1.7 µg/L. Fahren unter THC mit einem Wert über diesem Grenzwert wäre dann als Vergehen zu bewerten.

Für die Schweizer Praxis bedeutet dies, dass der Vollblut-Grenzwert von 1.7 µg/L ab einem analytischen Messwert von 2.5 µg/L sicher überschritten ist. Hierbei wird die in der Schweiz etabliert harmonisierte Messunsicherheit von 30 % berücksichtigt. Grundsätzlich impliziert dieser Ansatz, dass bei einem analytischen Messwert von 2.5 µg/L THC im Vollblut (Messunsicherheit bereits inkludiert!) ein verkehrsrelevantes Leistungsdefizit vorgelegen hat, sowohl für «regelmässige» Konsumenten als auch – um so mehr – für weniger THC-tolerante «gelegentliche» Konsumenten. Der per se-Ansatz und dieser auf der Prämisse der zweifelsfreien abstrakten Gefahr der Fahruntfähigkeit festgelegte Grenzwert steht nicht im Widerspruch zu Überlegungen, die eine – zumindest teilweise – Legalisierung von Cannabis unterstützen. Allerdings darf klar gesagt werden, dass die Höhe dieses Grenzwertes auf eine verkehrssicherheitsrelevante Wirkung und eine durch häufigeren als nur «gelegentlichen» Konsum erhöhte THC-Konzentration (durch Einbezug einer Residual-THC-Konzentration) bei inhalativer Aufnahme ausgerichtet ist. Eine nachgewiesene THC-Konzentration unter diesem Wert schliesst im Einzelfall jedoch keineswegs aus, dass insbesondere bei erstmaligem Konsum oder bei nicht an Cannabisgewöhnten, «gelegentlichen» Konsumenten zum Fahrtzeitpunkt ein verkehrssicherheitsrelevanter Cannabiseinfluss vorgelegen hat. Für die Unterscheidung der Intensität oder Häufigkeit des Cannabiskonsums («gelegentlich», «regelmässig») ist jedoch aktuell kein zuverlässiger analytischer Parameter etabliert, weshalb der verschiedentlich zitierte THC-COOH-Wert von 40 µg/L (im Vollblut) aktuell in der Schweiz nur als Entscheidungsindikator für eine Fahreignungsabklärung empfohlen wird [31]. Eine aktuelle Publikation aus Deutschland [32] geht von einer «sicheren» Unterscheidungsmöglichkeit von «Gelegenheitskiffern»/«Dauerkiffern» durch eine Bestimmung der THC-COOH Konzentration im Serum aus, welche aus unserer Sicht aufgrund

von interindividuellen Unterschieden und analytischen Unklarheiten zum Glucuronidierungsgrad weder valide noch evidenzbasiert ist – und deshalb nicht als einziges Indiz zur Feststellung der Konsumhäufigkeit angewendet werden kann. Des Weiteren muss einschränkend festgehalten werden, dass das obgenannte Konzept nur für Monokonsum anwendbar ist. In Fällen mit Mischkonsum, z. B. Cannabis und Alkohol oder Cannabis und Sedativa (z. B. Benzodiazepine) mit massiv höherem Risiko für einen Verkehrsunfall darf dieser Grenzwert nicht angewendet werden. Bei Mischkonsum liegt bei sehr viel niedrigeren THC-Werten Fahruntfähigkeit vor.

Eine weitere Einschränkung sollte hier bei der Anwendbarkeit für nicht zeitnah zum Ereignis entnommenen Blutproben gemacht werden. Wenn eine Zeitspanne von mehr als 2 Stunden zwischen Ereignis und Blutentnahme liegt, ist zu erwarten, dass die THC-Konzentration im Blut deutlich abgefallen ist. Wegen der sehr schnellen Verteilung von THC aus dem Blut sollte bei Zeitdifferenz von > 2 Stunden zwischen Ereignis und Blutentnahme – sofern keine Grenzwertüberschreitung vorliegt – eine Gesamtbeurteilung nach dem Wirkungsorientierten Ansatz vorgenommen werden, wobei den zeitnahen Beobachtungen durch die Polizei die grössere Bedeutung zukommen sollte.

[1]	Verordnung der Bundesversammlung für Alkoholgrenzwerte im Strassenverkehr, AS 741.13
[2]	Verkehrsregelnverordnung Art. 2 Abs. 2, AS 741.11
[3]	Zheljazkov VD; Noller JS; Maggi F; Dale R, Terpenes and Cannabinoids Yields and Profile from Direct-Seeded and Transplanted CBD-Cannabis sativa. <i>J Agric Food Chem</i> 2022, 70 (34), 10417 – 10428
[4]	Carvalho VM; de Almeida FG; de Macedo Vieira AC; Rocha ED; Cabral LM; Strongin RM, Chemical profiling of Cannabis varieties cultivated for medical purposes in southeastern Brazil. <i>Forensic Sci Int</i> 2022, 335, 111309
[5]	Simmons SM; Caird JK; Sterzer F; Asbridge M, The effects of cannabis and alcohol on driving performance and driver behaviour: a systematic review and meta-analysis. <i>Addiction</i> 2022, 117 (7), 1843 – 1856
[6]	Frei P, Frauchiger S, Scheurer E, Mercer-Chalmers-Bender K, Quantitative determination of five cannabinoids in blood and urine by gas chromatography tandem mass spectrometry applying automated online solid phase extraction. <i>Drug Test Anal</i> 2022, 14(7):1223 – 1233.
[7]	Hubbard JA, Smith BE, Sobolesky PM, Kim S, Hoffman MA, Stone J, Huestis MA, Grelotti DJ, Grant I, Marcotte TD, Fitzgerald RL, Validation of a liquid chromatography tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) method to detect cannabinoids in whole blood and breath. <i>Clin Chem Lab Med</i> 2020, 58(5):673 – 681
[8]	Joye T, Widmer C, Favrat B, Augsburg M, Thomas A, Parallel Reaction Monitoring-Based Quantification of Cannabinoids in Whole Blood. <i>J Anal Toxicol</i> 2020 44(6):541 – 548
[9]	Lo Faro AF, Tini A, Gottardi J, Pichini S, Carlier J, Giorgetti R, Busardò FP, UHPLC-MS-MS Determination of THC, CBD, and their Metabolites in Whole Blood of Light Cannabis Smokers. <i>J Anal Toxicol</i> 2022, (doi: 10.1093/jat/bkac081)
[10]	Giroud C, Ménétrey A, Augsburg M, Buclin T, Sanchez-Mazas P, Mangin P, Delta(9)-THC, 11-OH-Delta(9)-THC and Delta(9)-THCCOOH plasma or serum to whole blood concentrations distribution ratios in blood samples taken from living and dead people. <i>Forensic Sci Int</i> 2001, 123(2-3):159 – 64
[11]	Arkell TR et al, The failings of per se limits to detect cannabis-induced driving impairment, <i>Traffic injury prevention</i> , 2021, 22:102 – 107
[12]	Art. 16 Abs. 2 SKV
[13]	https://www.emcdda.europa.eu/publications/topic-overviews/legal-approaches-to-drugs-and-driving/html#panel27
[14]	https://www.emcdda.europa.eu/system/files/publications/8805/20181120_TD0418132ENN_PDFa.pdf
[15]	https://druggeddriving.tirf.ca/module/laws-penalties/#5
[16]	http://www.cicad.oas.org/Main/Template.asp?File=/drogas/cannabis/comparativeLegalAnalysis_ENG.asp
[17]	Lucas CJ; Galettis P; Schneider J, The pharmacokinetics and the pharmacodynamics of cannabinoids. <i>Br J Clin Pharmacol</i> 2018, 84 (11), 2477 – 2482
[18]	EMCDDA European Drug Report 2022: Trends and Developments 2022
[19]	ICADTS, Cannabis and Driving 2022
[20]	Rogeberg O; Elvik R; White M, Correction to: "The effects of cannabis intoxication on motor vehicle collision revisited and revised" (2016). <i>Addiction</i> 2018, 113 (5), 967 – 969

- [21] Rogeberg O; Elvik R, The effects of cannabis intoxication on motor vehicle collision revisited and revised. *Addiction* 2016, 111 (8), 1348 – 59
- [22] Drummer OH; Gerostamoulos D; Di Rago M; Woodford NW; Morris C; Frederiksen T; Jachno K; Wolfe R, Odds of culpability associated with use of impairing drugs in injured drivers in Victoria, Australia. *Accid Anal Prev* 2020, 135, 105389
- [23] Brubacher JR; Chan H; Erdelyi S; Macdonald S; Asbridge M; Mann RE; Eppler J; Lund A; MacPherson A; Martz W; Schreiber WE; Brant R; Purssell RA, Cannabis use as a risk factor for causing motor vehicle crashes: a prospective study. *Addiction* 2019, 114 (9), 1616 – 1626
- [24] Ramaekers JG; Robbe HW; O'Hanlon JF, Marijuana, alcohol and actual driving performance. *Hum Psychopharmacol* 2000, 15 (7), 551 – 558
- [25] Hartman RL; Brown TL; Milavetz G; Spurgin A; Pierce RS; Gorelick DA; Gaffney G; Huestis MA, Cannabis effects on driving lateral control with and without alcohol. *Drug Alcohol Depend* 2015, 154, 25 – 37
- [26] Arkell TR; Vinckenbosch F; Kevin RC; Theunissen EL; McGregor IS; Ramaekers JG, Effect of Cannabidiol and Delta9-Tetrahydrocannabinol on Driving Performance: A Randomized Clinical Trial. *JAMA* 2020, 324 (21), 2177 – 2186
- [27] Simmons SM; Caird JK; Sterzer F; Asbridge M, The effects of cannabis and alcohol on driving performance and driver behaviour: a systematic review and meta-analysis. *Addiction* 2022, 117 (7), 1843 – 1856
- [28] McCartney D; Arkell TR; Irwin C; McGregor IS, Determining the magnitude and duration of acute Delta(9)-tetrahydrocannabinol (Delta(9)-THC)-induced driving and cognitive impairment: A systematic and meta-analytic review. *Neurosci Biobehav Rev* 2021, 126, 175 – 193
- [29] Auwärter V; Daldrup T; Graw M; Hartung B; Knoche A; Musshoff F; Peters FT; Skopp G; Thierauf-Emberger A; Toennes ST, *Blutalkohol* 2022, 59, 331-339
- [30] Toennes SW; Auwärter V; Peters FT; Thierauf-Emberger A; Knoche A, *Blutalkohol* 2022, 59, 340 – 343
- [31] https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/mobilitaet/fuehrerausweis-fahren-lernen/ASTRA_Leitfaden_Fahreignung.pdf
- [32] Nikolic A; Jübner M; Lucuta L; Rohschild MA; Andresen-Streichert H, *Blutalkohol* 2023, 60, 61 – 72

Eine ad hoc Arbeitsgruppe von
ASTRA-Sachverständigen
der verschiedenen Institute für
Rechtsmedizin der Schweiz
erstellte den Bericht im Auftrag
des Bundesamtes für Strassen
(ASTRA).



Schweizerische
Gesellschaft
für Rechtsmedizin
SGRM

Société Suisse
de Médecine Légale
SSML

Società Svizzera
di Medicina Legale
SSML

Autoren:

Marc Augsburger, Dr., CURML Genf Lausanne
Markus Baumgartner, Dr., IRM Zürich, Projektleiter
Jochen Beyer, Dr., IRM St. Gallen
Kathrin Gerlach, Dr. med., IRM Basel
Philip Keller, Dr. med., IRM Aargau
Thomas Krämer, Prof Dr., IRM Zürich
Wolfgang Weinmann, Prof. Dr., IRM Bern

Erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA.

Bestellnummer 820002532 | Projektnummer 8201067 | Juni 2023