



Bericht THC-Grenzwerte im Strassenverkehr

Eine Literaturanalyse

Biranda Bucher, Kathrin Gerlach, Priska Frei, Kai Knöpfli, Eva Scheurer

Dezember 2020

Im Auftrag des Bundesamtes für Gesundheit (BAG)

Vertrags-Nr. 19.002847

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung / Résumé

deutsch.....	3
französisch.....	6
1. Einleitung.....	11
1.1 Ausgangslage und Zielsetzung.....	11
1.2 Pharmakologische Grundlagen von THC.....	12
2. Methode.....	14
2.1 Literaturrecherche.....	14
2.2 THC-Grenzwerte.....	14
2.3 Analyse von Fahrfähigkeitsgutachten.....	14
3. Übersicht über THC-Grenzwerte im Strassenverkehr.....	15
3.1 Nachweis und Messung von THC und THC-Carbonsäure.....	15
3.2 Tabelle mit Übersicht über internationale THC-Grenzwerte im Strassenverkehr.....	16
3.3 Regelungen für Cannabis im Strassenverkehr in Nordamerika und Australien.....	17
3.4 Regelungen für Cannabis im Strassenverkehr in Europa.....	18
3.5 Wichtigste Erkenntnisse zum generellen Umgang mit Cannabis im Strassenverkehr.....	19
3.6 Zusammenhang zwischen Cannabis im Strassenverkehr und Legalisierung.....	19
4. Evidenzgrundlagen von THC-Grenzwerten.....	20
4.1 Studienformen und verwendete Methoden.....	21
4.2 Experimentelle Studien zur verkehrsrelevanten Leistungsfähigkeit unter THC.....	22
4.3 Epidemiologische Studien zu THC und Strassenverkehrsunfälle.....	27
5. Beurteilung von Fahrfähigkeit und Fahreignung bei THC.....	30
5.1 Analyse von Fahrfähigkeitsgutachten.....	30
5.2 Medizinal-Cannabis und Fahrfähigkeit.....	31
5.3 THC-Carbonsäure und Fahreignung.....	32
6. Zusammenfassung und Empfehlungen.....	33
6.1 Empfehlungen für THC-Grenzwerte im Strassenverkehr.....	34
6.2 Aspekte der Umsetzbarkeit.....	39
7. Referenzen.....	41

Autoren

Biranda Bucher, wiss. ärztliche Mitarbeiterin Verkehrsmedizin, IRM Basel

Kathrin Gerlach, Dr. med., Abteilungsleiterin Forensische Medizin & Verkehrsmedizin, IRM Basel

Priska Frei, Dr. phil. nat., wiss. Mitarbeiterin Forensische Chemie & Toxikologie, IRM Basel

Kai Knöpfli, lic. iur., Leiter Administrativmassnahmen, Kantonspolizei Basel-Landschaft

Eva Scheurer, Prof. Dr. med., Direktorin IRM Basel

Abkürzungen

ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BAK	Blutalkoholkonzentration
CBD	Cannabidiol
CDSR	Cochrane Database of Systematic Reviews
CSA	Controlled Substance Act
DEA	Drug Enforcement Administration
DUIC	Driving under the Influence of Cannabis
EMCDDA	European Monitoring Centre for Drug and Drug Addiction
ETSC	European Transport Safety Council Netherlands
FARS	Fatality Analysis Reporting System
FuD	Fahren unter Drogeneinfluss
GHSA	Governors Highway Safety Association
THC	Tetrahydrocannabinol
THC-COOH	THC-Carbonsäure
OH-THC	Hydroxy-THC
OR	odds ratio
SDLP	standard deviation of lateral position
SGRM	Schweizerische Gesellschaft für Rechtsmedizin
SVG	Strassenverkehrsgesetz
SKV	Strassenverkehrskontrollverordnung
VRV	Verkehrsregelverordnung
VSKV-ASTRA	Verordnung des ASTRA zur Strassenkontrollverordnung

ZUSAMMENFASSUNG

Die Literaturrecherche bietet eine umfassende Darstellung der international geltenden THC-Grenzwerte im Strassenverkehr, ihre Evidenzgrundlage und des Zusammenhangs zwischen der THC-Konzentration, Konsumfrequenz, Konsumart und der Fahrfähigkeit. Das Ziel dieser Arbeit war, auf der Grundlage von wissenschaftsbasierten Erkenntnissen und aus wissenschaftlicher Sicht, Empfehlungen zu möglichen Anpassungen der geltenden Regelungen bezüglich Cannabiskonsum und Strassenverkehr zu formulieren.

HINTERGRUND

Ausgehend von verschiedenen parlamentarischen Vorstössen hat der Bundesrat zwei cannabisspezifische Legiferierungsprojekte in Auftrag gegeben. Zum einen sollen die gesetzlichen Grundlagen für Pilotversuche zum nicht-medizinischen Konsum von Cannabis geschaffen und zum anderen soll der Zugang zu Cannabis- Arzneimitteln erleichtert werden. Dabei ergeben sich auch Fragen zu THC im Strassenverkehr.

Seit 2005 gilt für THC eine Nulltoleranz mit einem Grenzwert von 1.5 ng/mL THC im Vollblut. Eine tatsächliche verkehrsrelevante Beeinflussung des Fahrzeuglenkers durch Cannabis muss nicht vorgelegen haben. Konsumenten von Cannabis- Arzneimitteln werden im Strassenverkehr strafrechtlich nicht verfolgt, wenn eine ärztliche Verordnung und eine Ausnahmegewilligung vorliegen, und die Fahrfähigkeit nicht beeinträchtigt war. Die Fahreignung dieser Personen muss stets individuell beurteilt werden.

Der aktuelle THC-Grenzwert wird in der Schweiz seit seiner Einführung kontrovers diskutiert. Das ASTRA steht einer Überprüfung der Nulltoleranz-Regelung eher kritisch gegenüber.

WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN UND ERKENNTNISSE

PHARMAKOKINETIK VON THC

Die Wirkungen von THC sind sehr individuell. Je nach Gewöhnung an Cannabis und je nach Menge und Konsumform kann die Wirkung sehr unterschiedlich sein.

- Die THC-Wirkung verläuft nicht parallel zur Zeitkurve der THC-Konzentration. Die Wirkstoffkonzentration im Blut nimmt unmittelbar nach Konsum rasch ab. Die akute THC-Wirkung nach dem Rauchen ist dosisabhängig und dauert 2-3 Stunden.
- Aufgrund der langen Halbwertszeit und der Fettlöslichkeit von THC kommt es zu einer Akkumulation im Fettgewebe und zu einer verzögerten Ausscheidung. THC und THC-Stoffwechselprodukte wie z.B. THC-Carbonsäure können vor allem bei häufigen Konsumenten noch mehrere Tage bis Wochen nach dem letzten Konsum in Blut und Urin nachweisbar sein.
- Bei oraler Aufnahme von THC werden niedrigere Blutkonzentrationen erreicht als beim Inhalieren, und der Wirkungseintritt kann bis zu 3 Stunden verzögert sein. Oral aufgenommenes THC unterliegt einem first-pass-Effekt in der Leber und gelangt deshalb langsamer ins Blut. Die Wirkung kann bis zu 4-12 Stunden anhalten.

EXPERIMENTELLE STUDIEN

Experimentelle Studien, welche die Auswirkungen von Cannabis auf die fahrrelevante Leistungsfähigkeit mit psychomotorischen Leistungstests, Fahrten am Fahrsimulator und bei Fahrversuchen auf realen Strassen untersuchten, ergaben unter anderem folgende Erkenntnisse:

- Die Beeinträchtigung der fahrrelevanten Leistungsfähigkeit ist dosis- und konzentrationsabhängig.

- Nach einem Konsum von Cannabis sinkt der Wille, sich ans Steuer zu setzen, und es kommt zu einer vorsichtigeren Fahrweise, da die Konsumenten ihre Leistungsdefizite wahrnehmen bzw. diese sogar eher überschätzen.
- Beeinträchtigte neuropsychologische Einzelleistungen können im Rahmen einer komplexen Gesamtleistung wie z.B. dem Autofahren bis zu einem gewissen Grad kompensiert werden. Inwiefern dann noch Leistungsreserven verfügbar sind, ist jedoch unklar.
- Erste Zeichen einer Beeinträchtigung ergeben sich ab 1–2.5 ng/mL THC im Vollblut. Einschränkungen entsprechend einer Blutalkoholkonzentration von 0.5‰ zeigen sich bei 3.0–4.1 ng/mL, einhergehend mit einer Reduktion der Leistungsfähigkeit für kontrollierte Handlungen um 25% und für automatisierte Handlungen um 10%.
- Wenn seit dem Konsum > 24 Stunden vergangen sind, können keine Defizite mehr nachgewiesen werden. Die Leistungsreserven können aber bis zu 72 Stunden nach einem Konsum eingeschränkt sein. Langfristige Leistungseinbussen im Sinne von residualen Wirkungen konnten keine festgestellt werden. Bei Abstinenz bestehen somit keine Hinweise darauf, dass die Fahreignung durch einen früheren chronischen Konsum eingeschränkt sein sollte.
- Mischkonsum von Alkohol und THC führt zu höheren THC-Konzentrationen im Blut und verstärkt die Leistungseinbussen deutlich gegenüber nur Alkohol oder nur Cannabis. Der additive Effekt ist direkt proportional zur THC-Dosis, aber indirekt proportional zur Blutalkoholkonzentration, d.h. zeigt sich verstärkt bei niedrigen Blutalkoholkonzentrationen.

EPIDEMIOLOGISCHE STUDIEN

Epidemiologische Studien untersuchten im Rahmen von Prävalenz-, Fall-Kontroll-, und Verursacherstudien THC bei an Verkehrsunfällen beteiligten Fahrern, um Rückschlüsse auf Unfallrisiko und Verursacherrisiko zu ziehen.

- Fahrer mit THC-Konzentrationen von < 5 ng/mL im Vollblut oder nur mit THC-Carbonsäure weisen verglichen mit nüchternen Fahrern kein erhöhtes Unfallrisiko auf. Ab 5 ng/mL ist das Unfallrisiko jedoch deutlich erhöht.
- Alkohol ist bereits bei einer Blutalkoholkonzentration von < 0.5‰ mit deutlich grösseren Unfall- und Verursacherrisiken verbunden als ein Nachweis von THC.
- Innerhalb der ersten Stunde nach Inhalation von THC, im Zeitfenster der maximalen Wirkung, sind 1.5 bis 2 mal häufiger Autounfälle zu beobachten als bei konsumfreien Fahrern. Nach 2 bis 4 Stunden nimmt das Unfallrisiko wieder ab.
- Häufige Cannabiskonsumenten haben kein höheres Unfallrisiko als Nichtkonsumenten, wenn sie nicht unter einem akuten Einfluss von THC stehen.

THC-GRENZWERTE IM STRASSENVERKEHR IN NORDAMERIKA, AUSTRALIEN UND EUROPA

- Staaten mit einem Grenzwert von 0 für THC (Nulltoleranz): Hinweise auf THC werden mit Schnelltests oder mit Untersuchungen auf eine psychomotorische Beeinträchtigung (sog. Impairment-Tests) gewonnen. Bestätigungsanalysen erfolgen im Blut oder Urin.

- Staaten mit einem sog. „per se“-Grenzwert zwischen 0.15 und 5 ng/mL im Vollblut: verfolgen entweder eine Nulltoleranz-Strategie (z.B. Deutschland, Schweiz) und der Grenzwert entspricht einer analytischen Nachweisgrenze oder haben einen Grenzwert als epidemiologisch ermittelter Schwellenwert, über dem das Risiko für Verkehrsunfälle gegenüber unbeeinflussten Autofahrern deutlich erhöht ist.
- Staaten, welche evidenzbasiert spezielle Grenzwert-Regelungen getroffen haben: z.B. mit einem System von abgestuften Grenzwerten (Norwegen, Kanada) oder mit einer strengeren Ahndung eines Mischkonsums mit Alkohol oder anderen Drogen (Ohio, Niederlande).
- Einzelne US-Bundesstaaten kennen jeweils zusätzliche Grenzwerte für THC im Urin oder für THC-Carbonsäure im Vollblut oder Urin.

THC-CARBONSÄURE UND FAHREIGNUNG

THC-Carbonsäure, ein pharmakologisch inaktives Stoffwechselprodukt von THC, wird zur Unterscheidung zwischen einem häufigen Konsum – entsprechend einer Konzentration von ≥ 40 ng/mL im Blut – und einem gelegentlichem Konsum (≤ 2 Mal / Woche) verwendet und als Zuweisungskriterium für eine Fahreignungsabklärung empfohlen.

Studien zeigen jedoch, dass zwischen einer Konzentration von THC-Carbonsäure von ≥ 40 ng/mL und der Fahreignung kein signifikanter Zusammenhang besteht. Fahrer, bei denen der Konsum schon länger zurücklag und die nicht mehr unter einer akuten Wirkung von Cannabis standen, sondern lediglich positiv auf THC-Carbonsäure getestet wurden, waren nicht häufiger Verursacher von Unfällen als nüchterne Fahrer.

EMPFEHLUNGEN

Auf der Grundlage der wissenschaftlichen Evidenz und den Erfahrungen anderer Länder sowie in Abhängigkeit von politisch zu beantwortenden Fragen, z.B. ob eine Nulltoleranz von Cannabis im Strassenverkehr beibehalten werden soll, haben sich 3 Varianten für mögliche Grenzwerte ergeben. Bei allen Varianten wird bei THC-Konzentrationen unterhalb des Grenzwerts empfohlen, bei Auffälligkeiten des Fahrers oder wenn eine Einnahme von Cannabis-Arzneimitteln geltend gemacht wird, die Fahrfähigkeit im Rahmen eines sog. Drei-Säulen-Gutachtens individuell zu beurteilen.

VARIANTE 1

Nulltoleranz und damit ein analytischer Grenzwert von 1.5 ng/mL THC im Vollblut wird beibehalten. Damit ist bei einer Toleranz von 30% die Fahrunfähigkeit ab einer THC-Konzentration von 2.2 ng/mL erwiesen.

VARIANTE 2

Der Grenzwert wird auf einen Risiko-Grenzwert von 3 ng/mL THC im Vollblut angehoben. Damit werden diejenigen Lenker belangt, die tatsächlich messbare Beeinträchtigungen aufweisen. Unter der Berücksichtigung einer Toleranz von 30% gilt die Fahrunfähigkeit ab einem Wert von 4.3 ng/mL THC als erwiesen.

VARIANTE 3

Es wird ein mehrstufiges System mit zwei Grenzwerten, 2.2 ng/mL und 4.3 ng/mL umgesetzt (inkl. Toleranz von 30%). Ab dem oberen Grenzwert gilt die Fahrunfähigkeit als erwiesen und es erfolgt eine Zuweisung zur Fahreignungsabklärung. Für den Bereich zwischen den Grenzwerten können Administrativmassnahmen umgesetzt werden. Bei Mischkonsum mit Alkohol gilt die Fahrunfähigkeit jedoch bereits ab dem unteren Grenzwert, und es erfolgt eine Abklärung der Fahreignung.

RÉSUMÉ

La recherche littéraire offre une présentation complète des valeurs limites THC internationales dans la circulation routière, leur évidence de base et la relation entre la concentration de THC, la fréquence et le mode de consommation et la capacité de conduire. L'objectif de ce document était, de formuler des avis scientifiques pour de possibles adaptations des règles en vigueur concernant la consommation de cannabis dans le contexte de la circulation routière sur des bases scientifiques.

CONTEXTE

Sur la base de divers interventions parlementaires le conseil fédéral suisse a commandé deux projets de légifération concernant le cannabis. Premièrement il s'agit de la création des bases juridiques pour des projets pilotes sur la consommation de cannabis non-médicale et deuxièmement de la facilitation à l'accès aux produits pharmaceutiques cannabis. Dans ce cadre se posent aussi des questions sur le THC dans la circulation routière.

Depuis l'année 2005 une tolérance zéro pour le THC avec une valeur limite de 1.5 ng/mL de THC dans le sang entier est en vigueur. Une influence pertinente du conducteur d'un véhicule par le cannabis n'est pas nécessaire. Des consommateurs de cannabis-médical sont exclus de la poursuite pénale, s'ils disposent d'une ordonnance médicale ainsi qu'une autorisation dérogatoire et si leur capacité de conduire n'était pas entravé. L'aptitude à la conduite de ces personnes doit toujours être évaluée individuellement.

La valeur limite actuelle du THC fait l'objet de discussions controversées en Suisse depuis son introduction. ASTRA est plutôt critique à l'égard d'une révision du règlement de tolérance zéro.

BASES ET CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

PHARMACOCINÉTIQUE DU THC

Les effets de THC sont très individuels. Dépendant de la quantité, de la forme de consommation et de l'accoutumance, l'effet peut fortement différer.

- L'effet du THC ne se poursuit pas parallèlement à la concentration de THC. La concentration de la substance active dans le sang décroît fortement immédiatement après la fin de la consommation. L'effet aigu après avoir fumé dépend du dosage et dure deux à trois heures.
- Du à la courte demi-vie et la liposolubilité du THC une accumulation se produit dans le tissu adipeux ainsi qu'une excrétion retardé. THC et des produits métaboliques du THC comme par exemple l'acide carboxylique du THC peuvent être démontrés dans le sang et l'urine encore plusieurs jours, même semaines après la dernière consommation. Ceci surtout chez des consommateurs fréquents.
- Lors de la consommation orale de THC des concentrations sanguines moins élevées par rapport à la consommation par l'inhalation sont atteintes. En outre, le commencement de l'effet peut être retardé jusqu'à 3 heures. Le THC consommé oralement est soumis à l'effet « first-pass » dans le foie et pénètre plus lentement dans le sang. L'effet peut persister de 4 à 12 heures.

ETUDES EXPERIMENTALES

Des études expérimentales avec l'objectif de gagner des informations sur les effets du cannabis sur la capacité de conduire ont été faites de différentes manières. Par exemple des tests de performance psychomotrice,

des trajets dans le simulateur de conduite ou des trajets lors d'essais routiers réelles. Les résultats les plus importants sont les suivants :

- La déficience de la capacité de conduire est dépendante du dosage et de la concentration du cannabis.
- Après la consommation de cannabis, la volonté de conduire diminue. Elle résulte aussi dans une manière de conduire plus prudente parce que les consommateurs se rendent compte de leurs déficits respectivement les surestime même plutôt.
- Dans le cadre d'une performance complexe, comme par exemple la conduite d'une voiture, des performances individuelles neuropsychologiques atteintes peuvent être compensées jusqu'à un certain point. Dans quelles mesures des réserves de performance restent disponible n'est pas clair.
- Des premiers signes de déficience se manifestent à partir d'une concentration de 1–2.5 ng/mL THC dans le sang entier. Des limitations qui correspondent à une concentration du taux d'alcool de 0.5‰ se montrent à partir d'une concentration de 3.0–4.1 ng/mL. Elles correspondent à une réduction de la capacité pour les actions contrôlées de 25% et de 10% pour les actions automatisées.
- 24 heures et plus après la consommation, les déficiences ne peuvent plus être prouvées. Les réserves de performances peuvent être limitées jusqu'à 72 heures après la consommation. Des pertes de performance à longue durée dans le sens d'effets résiduels n'ont pas pût être constaté. En cas d'abstinence ils n'existent pas d'indications, que l'aptitude de conduire serait limitée par une consommation chronique dans le passé.
- La consommation combinée de THC et d'alcool résulte dans une concentration de THC plus élevée dans le sang et renforce la perte de performance par rapport à une consommation unique de THC ou d'alcool. L'effet additif est directement proportionnel à la dose de THC, mais indirectement proportionnel aux taux de concentration d'alcool dans le sang. C'est-à-dire que l'effet se montre renforcé lors des concentrations de taux d'alcool faibles.

ETUDES EPIDEMIOLOGIQUES

Des études épidémiologiques ont examiné dans le cadre de différentes études (de prévalence, de cas-control, d'auteurs d'accidents) le THC chez des conducteurs impliqués dans des accidents pour en tirer des conclusions sur le risque d'accident et des risques d'auteur.

- Des conducteurs avec des concentrations de THC de < 5 ng/mL dans le sang entier ou seulement avec de l'acide carboxylique THC montrent, comparé avec des conducteurs sobres, pas de risque d'accident élevé. A partir de 5 ng/mL le risque d'accident est par contre considérablement élevé.
- Le risque d'accident lié à l'alcool est, même lors d'une concentration de < 0.5‰, considérablement plus élevé qu'avec une preuve de THC.
- Dans la première heure après l'inhalation de THC, dans la fenêtre temporelle de l'effet maximale, on constate 1.5 à 2 fois plus d'accidents par rapport à des conducteurs sobres. Le risque d'accident diminue après 2 à 4 heures.
- Les consommateurs fréquents de cannabis n'ont pas un risque d'accident élevé, s'ils ne sont pas sur l'influence aigu de THC.

VALEURS LIMITES DE THC DANS LE TRAFFIC ROUTIER EN AMERIQUE DU NORD, AUSTRALIE ET EN EUROPE

- Etats avec une limite autorisée de 0 de THC (tolérance zéro): Des indications d'une possible consommation de THC sont obtenues avec des tests rapides ou avec des analyses sur une déficience psychomotrice («Impairment-Tests»). Des analyses de validation sont effectuées dans le sang ou dans l'urine.
- Etats avec une limite autorisée «en soi» entre 0.15 et 5 ng/mL dans le sang entier: Appliquent une stratégie tolérance zéro (par exemple la Suisse, l'Allemagne) et la limite autorisée correspond à une limite de détection ou appliquent une limite autorisée comme valeur seuil épidémiologique au delà de laquelle, le risque d'accident est considérablement plus élevée par rapport à des conducteurs non influencés.
- Etats qui ont mise en place des valeurs limites spéciales basées sur des preuves: Avec un système de valeurs limites échelonnées (Norvège, Canada) ou avec des sanctions plus sévères en cas de consommation combinée avec de l'alcool ou d'autres drogues (Ohio, Pays Bas).
- Quelques états américains particuliers appliquent des valeurs limites additionnels pour le THC dans l'urine ou pour l'acide carboxylique THC dans le sang entier ou l'urine.

ACIDE CARBOXYLIQUE THC ET APTITUDE A LA CONDUITE

L'acide carboxylique THC, un produit métabolique du THC, est employé pour différencier entre une consommation fréquente – correspondant à une concentration de ≥ 40 ng/mL dans le sang - et une consommation occasionnelle (≤ 2 fois par semaine) et est recommandé comme critère d'attribution pour un examen de l'aptitude à conduire.

Des études scientifiques démontrent cependant, qu'il n'existe pas de relation significative entre la concentration d'acide carboxylique THC et l'aptitude de conduire. Les conducteurs avec un certain temps depuis l'arrêt de la consommation et n'étant plus sous un effet aigu de cannabis, mais seulement avec un résultat positif d'acide carboxylique THC, n'ont pas causé d'avantage d'accidents que de conducteurs sobres.

CONSEILS

Sur la base de l'évidence scientifique et des expériences d'autres pays et en dépendance des questions politiques, par exemple sur la maintenance de la tolérance zéro, 3 variantes résultent pour des valeurs limites possibles. Les 3 variantes ont en commun la recommandation, qu'en cas de concentration de THC en dessous de la limite autorisée, lors de signes d'anomalies chez le conducteur ou au cas de consommation de cannabis médical, de juger l'aptitude à la conduite individuellement dans le cadre d'une expertise 3 piliers.

VARIANTE 1

La tolérance zéro avec une limite autorisée de 1.5 ng/mL THC dans le sang reste maintenu. Ainsi, l'incapacité de conduire est avéré respectant une tolérance de 30% à partir d'une concentration de THC de 2.2 ng/mL.

VARIANTE 2

Augmentation de la limite autorisée à une limite risque de 3 ng/mL THC dans le sang entier. Avec cette limite, les conducteurs avec des déficiences effectifs et mesurables seront sanctionnés. Tenant compte d'une tolérance de 30%, l'incapacité de conduire sera avérée à partir d'une valeur de 4.3 ng/mL THC.

VARIANTE 3

Mise en œuvre d'un système avec deux valeurs autorisées, soit 2.2 ng/mL et 4.3 ng/mL (tolérance de 30% inclus). A partir de la limite supérieure, l'incapacité de conduire sera avérée et une attribution à un examen d'aptitude à conduire est décrétée. Pour la zone entre les deux limites des mesures administratives pourrait être mise en pratique. Lors d'une consommation combinée avec de l'alcool, l'incapacité de conduire s'appliquera déjà à partir de la limite inférieure.

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Seit dem Jahr 2005 wird in der Schweiz Fahren unter Betäubungsmittelinfluss gleich sanktioniert wie das Fahren mit einer Blutalkoholkonzentration von $\geq 0.8\%$ ¹. Beim THC, der häufigsten illegalen Substanz im Strassenverkehr, gilt eine Nulltoleranz, so dass das Führen eines Fahrzeugs mit THC im Blut nicht erlaubt ist. Der Grenzwert liegt bei 1.5 ng/mL THC im Vollblut. Unter Berücksichtigung eines Vertrauensbereichs von 30% gilt der Grenzwert als sicher überschritten, wenn 2.2 ng/mL THC im Blut nachgewiesen wurde. Damit gilt dann gemäss Verkehrsregelverordnung die Fahrfähigkeit als erwiesen². Es handelt sich somit um einen analytischen Grenzwert, da eine tatsächliche verkehrsrelevante Beeinflussung des Fahrzeuglenkers durch Cannabis nicht vorgelegen haben muss.

Ausgehend von verschiedenen parlamentarischen Vorstössen hat der Bundesrat zwei cannabis-spezifische Legiferierungsprojekte in Auftrag gegeben. Zum einen sollen die gesetzlichen Grundlagen für Pilotversuche zum nicht-medizinischen Konsum von Cannabis geschaffen werden und zum anderen soll der Zugang zu Cannabis-Arzneimitteln erleichtert werden. Dabei ergeben sich auch Fragen betreffend der Fahrfähigkeit nach dem Konsum von Cannabis im Rahmen der Pilotversuche sowie der Einnahme von ärztlich verschriebenen Cannabisarzneimitteln.

Seit Juli 2011 können Ärzte in der Schweiz schwerkranken Patienten, für die keine andere Therapieoption besteht, Cannabisprodukte zur oralen Einnahme als Medikament verschreiben. Voraussetzung ist, dass für die Patientin bzw. den Patienten eine vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) genehmigte Ausnahmegewilligung vorliegt, welche durch den behandelnden Arzt / die behandelnde Ärztin beantragt wurde. Cannabispatienten dürfen weiterhin am Strassenverkehr teilnehmen, solange sie in ihrer Fahrfähigkeit unter der Medikation nicht beeinträchtigt sind. Erfolgt bei diesen Personen anlassbezogen eine Verkehrskontrolle, zieht dies in der Regel eine Fahrfähigkeitsbegutachtung nach sich. Da gemäss Schweizerischer Rechtsgrundlage für Verkehrsteilnehmer, die THC-haltige Produkte ärztlich verordnet einnehmen, nicht bereits beim Nachweis von THC die Fahrunfähigkeit als erwiesen gilt³, erfolgt die individuelle Beurteilung der Fahrfähigkeit mit einem sog. Drei-Säulen-Gutachten⁴. Darin erfolgt aufgrund der Feststellungen der Polizei und der Ergebnisse der ärztlichen und der forensisch-toxikologischen Untersuchungen eine individuelle Beurteilung der Fahrfähigkeit. Bei Zweifel an der Fahrfähigkeit erfolgt ein Drei-Säulen-Gutachten indes auch bei einem Nachweis einer THC-Konzentration, welche nicht mit genügender Sicherheit über dem gesetzlich verankerten Grenzwert liegt, sowohl bei Konsumenten von ärztlich verschriebenen als auch von legalen (z.B. CBD-Cannabis) und illegalen Hanfprodukten. In den meisten EU-Ländern werden jedoch Personen, die THC-haltige Arzneimittel auf Verschreibung einnehmen, vom Gesetz gleich behandelt wie Konsumenten von illegalen THC-haltigen Produkten. In anderen Ländern, z.B. Irland, Norwegen und Grossbritannien, werden Personen, die nach dem Konsum von Cannabis-Arzneimitteln Auto fahren, strafrechtlich nicht verfolgt, wenn sie eine ärztliche Verordnung nachweisen können und nicht in ihrer Fahrfähigkeit beeinträchtigt waren [1]. Die Befreiung von Strafe wird damit begründet, dass Cannabis als Medizin und in einer regulären Dosis den Patienten oftmals erst wieder in die Lage versetzt, sicher ein Fahrzeug im Strassenverkehr zu führen.

¹ Schweizerisches Bundesgericht, Urteile 6S.391/2003 und 6S.397/2003, 18. März 2004

² VRV, Art. 2, Abs. 2, Bst. a)

³ VRV, Art. 2, Abs. 2ter

⁴ SKV, Art. 16, Abs. 1 und 2

Bei einer häufigen Einnahme von Cannabis wird des Weiteren ein Gewöhnungseffekt diskutiert, der die psychomotorische Wirkung verringert, auch wenn THC im Blut nachgewiesen wird.

Bislang gibt es noch keine unbestrittene oder einheitliche Methode, um einen THC-Grenzwert für den Strassenverkehr festzulegen. Umso mehr kann allenfalls von den Erfahrungen in anderen Ländern profitiert werden. So existieren international höchst unterschiedliche THC-Grenzwerte bis zu einer Höhe von 5 ng/mL THC im Vollblut, die z.T. auf wissenschaftlichen Grundlagen basieren.

Der aktuelle THC-Grenzwert wird in der Schweiz seit seiner Einführung kontrovers diskutiert. Das ASTRA nahm in einem 2004 erschienen Artikel dazu Stellung [2] und steht einer Überprüfung der Nulltoleranz-Regelung eher kritisch gegenüber.

Mit dieser Literaturanalyse soll eruiert werden, welche wissenschaftlichen Erkenntnisse zu THC-Grenzwerten und zur Beeinflussung der Fahrfähigkeit und Fahreignung durch THC bereits vorliegen, und ob daraus ein begründeter Grenzwert bzw. mehrere Grenzwerte analog zur 0.5‰- bzw. 0.8‰-Grenze bei Alkohol abgeleitet werden könnten. Der Bericht soll eine Übersicht über die aktuellen THC-Grenzwerte in Europa, Nordamerika und Australien bieten. Des Weiteren sollen die Evidenzgrundlagen analysiert werden, auf denen die entsprechenden Grenzwertregelungen basieren, unter Berücksichtigung des THC-Einflusses auf die kognitiven, neuropsychologischen und motorischen Fertigkeiten im zeitlichen Verlauf, der Konsumfrequenz (gelegentlicher Konsum, d.h. ≤ 2 Mal pro Woche, mehr als gelegentlicher bzw. häufiger Konsum, d.h. > 2 Mal pro Woche) und hinsichtlich der Konsumart (rekreativer Konsum bzw. medizinischer Gebrauch). Schliesslich sollen die Folgen, Erfahrungen und Evaluierungen, insbesondere der amtlich festgelegten Grenzwerte, zusammengestellt werden. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen werden wissenschaftlich basierte Empfehlungen hinsichtlich eines THC-Grenzwertes bzw. mehrerer THC-Grenzwerte analog zu den Alkoholgrenzwerten im Strassenverkehr vorgeschlagen.

1.2 Pharmakologische Grundlagen von THC

Beim im Blut nachgewiesenen Tetrahydrocannabinol (THC) handelt es sich um den psychoaktiven Wirkstoff von Cannabis. Dieser wird meist durch Rauchen von mit Tabak gemischtem Hanf inhalativ aufgenommen oder oral in Form von „Haschischgebäck“ konsumiert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei oraler Aufnahme im Gegensatz zum Rauchen von THC-haltigen Joints deutlich niedrigere Blutkonzentrationen erreicht werden. Zudem unterscheidet sich die orale Aufnahme im Hinblick auf die Anflutungsgeschwindigkeit im Gehirn deutlich von einer inhalativen Aufnahme. Auch unterliegen oral aufgenommene THC und weitere Cannabis-Wirkstoffe wie z.B. das nicht berauschende Cannabidiol (CBD) einem ausgesprochenen first-pass-Effekt [3], so dass sich die Pharmakokinetik und Pharmakodynamik grundlegend von der einer inhalativen Aufnahme unterscheidet. Der first-pass-Effekt beschreibt die Umwandlung eines Wirkstoffes während seiner ersten Passage durch die Leber nach dessen Absorption im Magen-Darm-Trakt. Er hat somit - nebst weiteren Faktoren - einen grossen Einfluss auf die orale Bioverfügbarkeit. Diese gibt an, wie schnell und in welchem Umfang der Stoff aufgenommen wird und unverändert am Wirkort zur Verfügung steht. Die psychoaktive Wirkung von THC beruht hauptsächlich auf der Interaktion mit Cannabinoid-Rezeptoren (insbesondere Cannabinoid-Rezeptor 1 (CB₁)) im Gehirn, Rückenmark und Nervensystem, die physiologisch für die endogenen, d.h. vom Körper selbst produzierten, Cannabinoide vorgesehen sind. Exogen zugeführte Cannabinoide modulieren das körpereigene Endocannabinoid-System, indem sie anstelle der körpereigenen Liganden an die Rezeptoren binden (THC) oder die Wirkung anderer Liganden modulieren (CBD). Die Wirkungen von THC lassen sich nicht ohne weiteres vereinheitlichen. Sie können je nach Persönlichkeitsstruktur, momentaner psychischer Verfassung, äusseren Umständen, der Gewöhnung an Cannabis sowie der Menge an aufgenommener Substanz sehr

unterschiedlich verlaufen und die vorhandene Gefühlslage verstärken. THC-Wirkungen können sich u.a. in Euphorie, subjektiver Zufriedenheit, Benommenheit, Appetitsteigerung, Apathie, Unruhe oder Halluzinationen äussern. Im Strassenverkehr wirken sich die somatischen Einschränkungen wie Pupillenerweiterung, Störungen der Koordination sowie der zeitlichen und räumlichen Wahrnehmung negativ aus. THC wird teilweise in der Lunge, hauptsächlich aber in der Leber abgebaut. Zunächst entsteht das noch aktive Stoffwechselprodukt Hydroxy-THC (OH-THC). Dieses wird danach zur inaktiven THC-Carbonsäure (THC-COOH) umgewandelt, die in ihrer freien als auch glucuronidierten Form (THC-COO-Glucuronid) noch während mehrerer Tage bis Wochen im Blut und im Urin nachweisbar bleibt [4, 5]. Die Abbauprodukte von THC werden dann über Stuhl und Urin ausgeschieden. Die akute Wirkung von THC nach inhalativer Aufnahme hält ca. zwei bis drei Stunden an, obschon die Wirkstoffkonzentration im Blut bereits wenige Minuten nach dem Rauchen rasch abfällt [6]. Das bedeutet, dass sich die THC-Wirkung nach dem Rauchen von Cannabis nicht parallel zur THC-Blutkonzentration verhält, sondern zum zeitlichen Verlauf der THC-Blutkonzentration verzögert erfolgt und auch bei deutlich geringeren Blutkonzentrationen weiterbestehen kann. Bei oraler Aufnahme von THC wird die maximale Blutkonzentration im Gegensatz zur Aufnahme durch Inhalation, abhängig von der Dosierung und weiterer Faktoren wie Magenfüllung, erst nach einer bis mehreren Stunden erreicht [7]. Sie ist zudem geringer als bei inhalativer Aufnahme. Aufgrund der hohen Fettlöslichkeit von Cannabinoiden kommt es zu einer Akkumulation im Fettgewebe und einer verzögerten Ausscheidung aus dem Körper, was zu einer langen β -Eliminationshalbwertszeit führt [8]. THC sowie dessen Abbauprodukte, insbesondere THC-COOH (\pm Glucuronid), können daher insbesondere bei einem häufigen Konsum noch Tage bis Wochen nach dem letzten Konsum in Blut und Urin nachweisbar sein [9-11]. Dies bedeutet, dass bei häufigen Konsumenten auch ohne kurz zurückliegenden Konsum, zum Beispiel nach mehrtägiger Abstinenz, THC-Vollblutkonzentrationen über dem gesetzlich verankerten Grenzwert von 1.5 ng/mL nachgewiesen werden können, aber trotzdem keine für das Führen eines Fahrzeugs relevante Beeinträchtigung damit einhergehen muss. Neben dem aktiven THC wird bei Verdacht auf Fahren unter Drogeneinfluss (FuD) in der Schweiz regelhaft auch die Konzentrationen des aktiven Abbauproduktes OH-THC sowie der nicht pharmakologisch wirksamen freien THC-Carbonsäure (THC-COOH) bestimmt. Mit zweiter lassen sich Rückschlüsse auf die Konsumfrequenz ziehen [12]. Eine Konzentration von ≥ 40 ng/mL im Vollblut gilt als Hinweis für einen mehr als gelegentlichen Cannabiskonsums, d.h. häufiger als zweimal pro Woche [13]. Möglicherweise stellt auch die kombinierte Detektion von freier und glucuronidierter THC-COOH einen Marker für häufigen Konsum dar [4, 14].

2. Methode

2.1 Literaturrecherche

In mehreren Datenquellen erfolgte eine umfassende Literatursuche in den Veröffentlichungssprachen Englisch und Deutsch.

Folgende wissenschaftliche Datenbanken wurden durchsucht: Database of Systematic Reviews (CDSR), Swissbib, PubMed, Google Scholar, swisslex (umfangreiche schweizerische Rechtsdatenbank), LexisNexis (internationale Datenbank), Web of Science.

Zusätzlich wurde nach internationalen juristischen Quellen und amtlichen Publikationen in Europa und Nordamerika gesucht: www.admin.ch (Bundesrecht, Vernehmlassungen), VSKV-ASTRA, Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen (Deutschland), European Monitoring Centre for Drug and Drug Addiction (EMCDDA), Norwegian Ministry of Transport and Communications, European Transport Safety Council Netherlands.

Quellen für die USA waren: Drug Enforcement Administration, National Highway Traffic Safety Administration, Governors Highway Safety Association, Driving under Influence, Food and Drug Administration (fda.gov), Controlled Substance Act, Food, Drug and Cosmetic Act, Marijuana.com.

Quellen für Kanada waren: canada.ca, Canadian Centre on Substance Use and Addiction, Controlled Drugs and Substances Act, Local Laws in Provinces, Criminal Code, Cannabis Act, Impaired Driving.

Weitere Quellen: verschiedenste Beiträge von Fachexperten (vorwiegend Kongressbeiträge), Zeitungen, Online-Nachrichten, Hanf-Webportale.

2.2 THC-Grenzwerte

Grundlage für die Kapitel 3.2 bis 3.5 bilden sämtliche Beiträge mit THC-Grenzwerten. Dabei wurden die für das Thema relevanten rechtlichen Grundlagen aufgearbeitet, und es wurde zwischen wissenschaftlich basierten Empfehlungen oder evidenzbasierten Studien und amtlichen Publikationen unterschieden. Es wurden allerdings auch weniger verlässliche Quellen wie z.B. nicht amtliche Webseiten konsultiert (z.B. www.fuehrerscheinkampagne.de oder www.sensiseeds.com). Dabei fanden sich für einzelne Länder auch diskrepante Angaben bezüglich der im Strassenverkehr geltenden THC-Grenzwerte. So liess sich z.B. aus einer Quelle für Finnland der THC-Grenzwert von 2 ng/mL entnehmen, während andere Quellen „keinen spezifischen Grenzwert“ angaben. Letztlich wurden alle Angaben mittels der amtlichen Webseiten („Transport and Safety Agency“) der jeweiligen Länder überprüft. Internationale Publikationen und Projektarbeiten über Drogen im Strassenverkehr zeigten sich nebst den offiziellen amtlichen Webseiten als zuverlässigste Quellen.

2.3 Analyse von Fahrfähigkeitsgutachten

Zur Beurteilung des Zusammenhangs zwischen einer im Blut nachgewiesenen THC-Konzentration und Symptomen oder Auffälligkeiten sowie des zeitlichen Zusammenhangs zwischen Konsum und Blutentnahme wurden die Akten des IRM Basel aller Personen analysiert, bei welchen im Jahr 2017 eine Zuweisung zur Fahreignungsabklärung durch die Administrativmassnahmenämter der Kantone Basel-Stadt oder Basel-Landschaft erfolgt war. Es handelte sich dabei um die Akten von 61 Personen. Davon mussten 9 Fälle ausgeschlossen werden, da keine Daten zur THC-Konzentration im Blut vorlagen. Analysiert wurden daher die Fallakten von 52 Personen (3 weiblich, 49 männlich) im Alter von 31.2 ± 7.9 Jahren (Mittelwert \pm Standardabweichung), der Median betrug 31 Jahre (min. 20 – max. 55 Jahre).

3. Übersicht über THC-Grenzwerte im Strassenverkehr

3.1 Nachweis und Messung von THC und THC-Carbonsäure

Grundsätzlich ist der Nachweis eines Cannabis-Konsums bei Autofahrern durch den Nachweis von THC und/oder des inaktiven Metaboliten THC-Carbonsäure (THC-COOH) in allen Körperflüssigkeiten (Blut, Urin, Schweiß und Speichel) möglich.

Im Rahmen von Verkehrskontrollen („roadside-testing“) können in der Regel nur Speichel- oder Urinproben untersucht werden, da diese nicht-invasiv und mit geringem Aufwand vor Ort gewonnen werden können. In neun europäischen Ländern werden aktuell Speicheltests als Vortests zugelassen, wobei in der Regel eine Bestätigungsanalyse im Blut erforderlich ist. Diese ist notwendig, da einerseits die im Rahmen des „roadside-testing“ verwendeten Vortests keine ausreichende Messsicherheit besitzen und andererseits nur die Werte im Blut als Nachweis einer unmittelbaren pharmakologischen Beeinflussung gerichtlich verwertet werden können [15]. Einige Staaten (wie z.B. Spanien, Frankreich, Zypern und der australische Bundesstaat Victoria) erlauben jedoch Speichel auch als die bestätigende Testmatrix und anerkennen den Nachweis im Speichel als gerichtlich verwertbares Beweismittel. Wichtigster Grund dafür ist laut Studien die Zeit zwischen Anhaltung bis zur Blutentnahme von eineinhalb bis drei Stunden [1], in der sich die THC-Konzentration im Blut weiter abbaut. Da der Abbau von THC über die Zeit im Gegensatz zum Abbau von Blutalkohol nicht gemäss einer berechenbaren Funktion verläuft, kann somit nicht mehr auf die Konzentration zum Zeitpunkt der Anhaltung rückgerechnet werden.

Für die Messwerte von THC im Blut werden in der Literatur unterschiedliche Masseinheiten verwendet, wobei 1 ng/mL gleichbedeutend mit 1 µg/L ist. Zudem sind die THC-Grenzwerte in den aufgelisteten Staaten bzw. Bundesstaaten jeweils für ganz bestimmte Probenmatrices festgelegt, z.B. für Blutserum, Vollblut oder Urin, da die Matrix, d.h. das Probenmaterial, den Messwert in hohem Mass beeinflusst. In der Regel werden THC-Werte entweder im Vollblut oder im Blutserum gemessen. Der Umrechnungsfaktor zwischen Vollblut und Blutserum beträgt 2, das bedeutet, dass 1.5 ng/mL im Vollblut äquivalent zu 3 ng/mL im Blutserum sind. In einigen US-Bundesstaaten ist zusätzlich zum Grenzwert in Vollblut oder Blutserum auch ein Grenzwert für THC im Urin festgelegt (Nevada, Ohio, Pennsylvania). Andere verwenden auch THC-Carbonsäure (THC-COOH) im Vollblut oder Urin als Grenzwertsubstanz.

3.2 Tabelle mit Übersicht über internationale THC-Grenzwerte im Strassenverkehr

In der Tabelle werden die THC-Grenzwerte für den Strassenverkehr von Nordamerika, Australien und Europa aufgelistet, die aktuellen THC-Grenzwerte in Europa werden in Kapitel 3.4 zusätzlich in einer geographischen Übersicht dargestellt. Die Grenzwerte sind geordnet nach der Höhe des THC-Grenzwertes in ng/mL gemessen im Blutserum bzw. im Vollblut. Abweichende Probenmatrixes und weitere Kommentare sind mit Fussnoten bezeichnet.

THC (ng/mL) Blutserum	THC (ng/mL) Vollblut	THC-COOH (ng/mL) Vollblut	Staat / Bundesstaaten
0	0		Australien ¹ , Spanien¹ , Zypern¹ ; Arizona, Delaware, Georgia, Illinois, Indiana, Kentucky, Michigan, Minnesota, North Carolina, Oklahoma, Rhode Island, South Dakota, Utah, Virginia, Washington DC, Wisconsin (USA)
		50 ²	Iowa (USA)
0.3 (0.6)	(0.15) 0.3		Slowenien
1 (2)	(0.5) 1		Schweden
2 (2)	(1) 1 ³	1 ³	Belgien , Deutschland
(2)	1	5	Dänemark , Finnland , Frankreich , Griechenland
(2.6)	1.3 / 3 / 9		Luxemburg
(3)	1.5		Pennsylvania (USA)
(4)	2		Irland
(4)	2	10	Norwegen⁴
(4)	2	50	Schweiz⁵
(4)	2 / 10 ²	5 / 15 ²	Tschechische Republik
(4)	2 / 10 ²	5 ⁶ / 50 / 15 ⁷ / 35 ²	Grossbritannien
(4)	2 / 2.5 ⁸ / 5		Polen
5 (6)	1 ⁶ / 3 3	5	Nevada (USA)
(10)	5		Ohio (USA)
	nicht definiert		Kanada
			Niederlande
			Portugal
			Maine, Montana, Colorado ⁹ , Washington State (USA)
			Estland , Lettland , Litauen , Italien , Kroatien , Malta , Österreich , Rumänien , Slowakei , Ungarn ; Alaska, District of Columbia, California, Massachusetts, Oregon (USA)

– Werte in Klammern wurden zum Zweck der besseren Vergleichbarkeit von Blutserum und Vollblut berechnet. Als tatsächliche Grenzwerte gelten die Werte ohne Klammern in der jeweiligen Probenmatrix.

– Blaue Schrift: Staaten in Europa, schwarze Schrift: Australien und Staaten in Nordamerika.

¹ im Speichel gemessen

² im Urin gemessen

³ gilt jeweils für Vollblut und Urin

⁴ Das Strafmass erhöht sich mit dem nachgewiesenen THC-Wert: 1.3 ng/mL vergleichbar mit 0.2‰ BAK, 3 ng/mL vergleichbar mit 0.5‰ BAK; 9 ng/mL vergleichbar mit 1.2‰ BAK.

⁵ Vertrauensbereich der Messung von ±30%

⁶ gilt im Vollblut bei gleichzeitigem Nachweis von Alkohol oder anderen Drogen

⁷ gilt im Urin bei gleichzeitigem Nachweis von Alkohol oder anderen Drogen

⁸ gilt bei gleichzeitigem Nachweis von 0.5‰ BAK

⁹ bei einer Beeinträchtigung des Fahrers gilt jedoch eine Nulltoleranz.

3.3 Regelungen für Cannabis im Strassenverkehr in Nordamerika und Australien

In Nordamerika gelten unterschiedliche gesetzliche Bestimmungen für Cannabis im Strassenverkehr, welche die ganze Bandbreite von keiner Regelung über eine Nulltoleranz oder strenger Repression bis hin zu einer Grenzwert-Regelung abdeckt, welche einen gemässigten Konsum von Cannabis zulässt. Strafmassnahmen bei der Überschreitung von Grenzwerten reichen von Führerausweisentzug, Strafpunkten und harten Geldstrafen, abzuleistenden Stunden gemeinnütziger Arbeit bis zu Haftstrafen. Die Regelung von Cannabis im Strassenverkehr der Staaten hat dabei keinen direkten Zusammenhang mit der Zulässigkeit eines medizinischen oder rekreativen Konsums von Cannabis oder einer Entkriminalisierung [16]. Einige wissenschaftliche Begleitstudien haben untersucht, ob es in Folge einer Legalisierung von Cannabis für den rekreativen Gebrauch zu einer Veränderung der Inzidenz von Verkehrsunfällen gekommen ist [17-20]. Die Bandbreite der Ergebnisse ist gross, wobei die Mehrheit der Studien zwar von einem Anstieg zwischen 3% und 30% ausgeht, jedoch feststellt, dass die Inzidenz immer noch deutlich geringer ist als bei Fahren unter Alkohol.

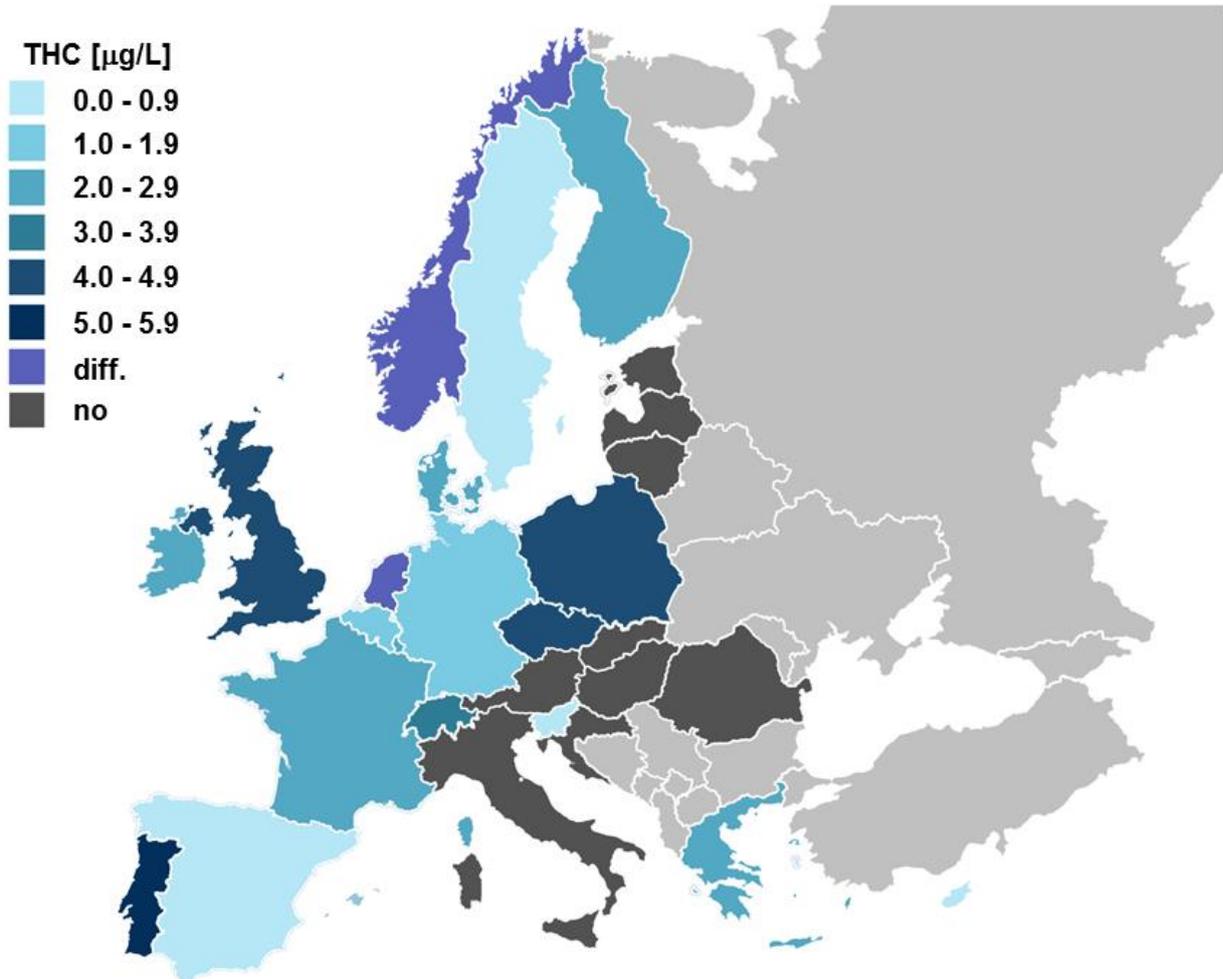
In sechzehn Bundesstaaten der USA gilt eine Nulltoleranz mit einem Grenzwert von null, wobei jeglicher Nachweis eines Cannabiskonsums geahndet wird [21]. Dafür werden neben Blut- und Urinproben zunehmend auch Speichelproben untersucht, da es sich dabei um eine einfache und nicht-invasive Methode im Rahmen eines „roadside-testings“ handelt [21, 22]. Allerdings ist damit immer auch ein Risiko von falsch-positiven Ergebnissen verbunden. Während fast alle Bundesstaaten mit einer Grenzwert-Regelung einen oder mehrere Grenzwerte für den psychoaktiven Wirkstoff THC definiert haben, haben einige Staaten zusätzlich (Nevada, Ohio, Pennsylvania), oder im Fall von Iowa ausschliesslich, einen Grenzwert für das inaktive THC-Stoffwechselprodukt, THC-Carbonsäure (THC-COOH), festgelegt, welcher für Vollblut oder Urin gilt [23]. Obwohl die beiden Bundesstaaten Colorado und Washington denselben - und international höchsten - THC-Grenzwert von 5 ng/mL im Vollblut für den Strassenverkehr definiert und beide Cannabis auch für den Freizeitgebrauch legalisiert haben, liegen der Regelung unterschiedliche Konzepte zugrunde [16, 21]. In Colorado ist Fahren unter dem Einfluss von Cannabis prinzipiell nicht erlaubt, und Fahrer werden auch mit weniger als 5 ng/mL wegen des Fahrens unter Drogeneinfluss bestraft, wenn die Polizei Ausfallerscheinungen beobachtet (sog. „reasonable inference law“). Wenn im Blut eines Fahrers mehr als 5 ng/mL THC nachgewiesen wird, wird auch ohne weitere Beobachtungen einer Beeinflussung davon ausgegangen, dass der Fahrer unter dem Einfluss von THC stand, und er wird entsprechend belangt [24]. In Washington State bleibt der Fahrer straffrei, wenn die THC-Konzentration im Vollblut nicht höher als 5 ng/mL ist (sog. „per se“ limit). Als einziger US-Bundesstaat bewertet Ohio den zusätzlichen Nachweis von Alkohol oder anderen Drogen, indem in diesen Fällen ein deutlich niedrigerer THC-COOH-Grenzwert gilt [23].

Auch in Kanada wird im Strassenverkehr ein Mischkonsum härter geahndet als ein ausschliesslicher Cannabiskonsum. Ein THC-Nachweis im Vollblut unterhalb des Grenzwertes von 2 ng/mL THC wird nicht verfolgt. THC-Konzentrationen zwischen 2 und 5 ng/mL gelten als Ordnungswidrigkeit, während 5 ng/mL THC oder mehr als Straftat bewertet wird. Bei einer Blutalkoholkonzentration von 0.5‰ oder höher gilt allerdings bereits eine THC-Konzentration von mehr als 2.5 ng/mL als Straftat und wird wie eine Fahrt mit mehr als 5 ng/mL geahndet.

Australiens Gesetzgebung verfolgt den Ansatz einer Nulltoleranz, bei der jeglicher Hinweis auf THC verfolgt wird. Dabei wird ein Schnelltest an einer Speichelprobe verwendet. Eine Bestätigung des THC-Nachweises im Blut oder Urin ist jedoch notwendig [25].

3.4 Regelungen für Cannabis im Strassenverkehr in Europa

Die Länder in Europa haben im Strassenverkehr unterschiedliche THC-Grenzwerte von 0 bis 6 ng/mL (entspricht $\mu\text{g/L}$) im Blutserum festgelegt. Die meisten Länder haben einen Grenzwert festgelegt, Norwegen und die Niederlande haben sich für ein abgestuftes System entschieden.



Darstellung der Werte im Blutserum

diff. abgestufte Grenzwerte

no nicht definiert

In allen europäischen Ländern, welche eine THC-Regelung für den Strassenverkehr kennen, mit Ausnahme von Norwegen und den Niederlanden, gelten „per se“-THC-Grenzwerte zwischen 0 und 3 ng/mL THC im Vollblut (entsprechend 0 – 6 ng/mL THC im Blutserum wie in der Graphik geographisch abgebildet), welche sich nicht an einer pharmakologischen Wirkung orientieren. In 10 europäischen Ländern sind bisher keine Grenzwerte definiert. In Norwegen gilt eine abgestufte und evidenzbasierte Regelung, wobei sich das Strafmass mit dem nachgewiesenen THC-Wert erhöht. Dabei werden Werte von 1.3 ng/mL im Vollblut und höher wie eine Blutalkoholkonzentration von 0.2‰ Blutalkoholgehalt bewertet, eine THC-Konzentration von 3 ng/mL und höher wie 0.5‰ BAK und ab einem Grenzwert von 18 ng/mL erfolgt eine Strafbeimessung wie bei 1.2‰ BAK. In den Niederlanden liegt der THC-Grenzwert bei 3 ng/mL im Vollblut und bei 5 ng/mL im Blutserum [26], bei Nachweis eines Mischkonsums von THC und Alkohol oder anderen Drogen gilt jedoch ein

Grenzwert von 1 ng/mL im Vollblut. Im Gegensatz zu Nordamerika wurden in keinem europäischen Land THC-Grenzwerte im Urin festgelegt, und Speicheltests erfolgen lediglich als Vortests.

3.5 Wichtigste Erkenntnisse zum generellen Umgang mit Cannabis im Strassenverkehr

Die Auswertung der Literatur bezüglich der Regelung von THC im Strassenverkehr in Nordamerika, Australien und Europa ergab, dass unabhängig von einer Legalisierung des Konsums vier verschiedene Systeme im Umgang mit Cannabis im Strassenverkehr bestehen. Es gibt Staaten, die eine Nulltoleranz mit einem Grenzwert von 0 für THC definiert haben. Dies bedeutet, dass jegliche Hinweise auf THC geahndet werden. Solche Hinweise können mit Schnelltests (z.B. in einer Speichelprobe) oder bei Untersuchungen auf eine psychomotorische Beeinträchtigung (sog. „Impairment-Tests“) gewonnen werden. Bestätigungsanalysen erfolgen im Blut oder im Urin. Die zweite Gruppe von Ländern hat jeweils einen Grenzwert zwischen 0.15 und 5 ng/mL im Vollblut (bzw. entsprechend zwischen 0.3 und 10 ng/mL im Blutserum) festgelegt, wobei diese zum Teil einer analytischen Nachweisgrenze im Rahmen einer Nulltoleranz entsprechen (z.B. Deutschland, Schweiz). In einzelnen US-Bundesstaaten besteht jeweils zusätzlich ein Grenzwert für THC im Urin (Pennsylvania, Nevada) oder für THC-Carbonsäure (THC-COOH), einem Stoffwechselprodukt von THC, im Vollblut oder Urin. Alle Staaten mit sog. „per se“-Grenzwerten verfolgen entweder ebenfalls eine Nulltoleranz-Strategie gegenüber Cannabis oder aber pflegen einen Grenzwert, der als epidemiologisch ermittelter Schwellenwert erachtet wird, über dem das Risiko für Verkehrsunfälle gegenüber unbeeinflussten Autofahrern deutlich erhöht ist. Die dritte Gruppe besteht aus Staaten, welche evidenzbasiert spezielle Regelungen getroffen haben, z.B. mit einem System von abgestuften Grenzwerten (Norwegen, Kanada) oder mit einer strengeren Ahndung eines Mischkonsums von Cannabis und Alkohol oder anderen Drogen (Ohio, Niederlande). Die letzte Gruppe umfasst diejenigen Staaten, welche derzeit keine offizielle Regelung für THC im Strassenverkehr getroffen haben.

3.6 Zusammenhang zwischen Cannabis im Strassenverkehr und Legalisierung

US Bundesstaaten

Mit der Legalisierung von Cannabis in vielen US-Bundesstaaten wurde mehr Toleranz und Offenheit gegenüber dieser Substanz erreicht. Neben der vollständigen Legalisierung, welche einen legalen Freizeitkonsum zulässt, gibt es diverse rechtliche Abstufungen. Die erste Stufe ist die Entkriminalisierung von Cannabis, wobei der Besitz, der Konsum und teilweise auch der Verkauf von Kleinstmengen straffrei sind. Die zweite Stufe der Legalisierung erlaubt den medizinischen Gebrauch, wobei in der Regel eine Rezeptpflicht und die Notwendigkeit einer vorgängigen Patientenregistrierung bestehen. Die letzte Stufe entspricht der kompletten Legalisierung, bei der sowohl der Freizeitkonsum als auch der Anbau und Handel prinzipiell erlaubt sind. Die rechtliche Situation der Legalisierung am Beispiel der USA steht allerdings in keinem Zusammenhang mit der rechtlichen Regelung von Cannabis im Strassenverkehr. So haben einige Staaten, wie zum Beispiel Colorado, Cannabis komplett legalisiert, pflegen aber im Strassenverkehr eine Nulltoleranz für Cannabis [16]. Erste Ergebnisse zeigen, dass seit der proaktiven Vermarktung von Cannabis zu medizinischen Zwecken, die Verkehrsunfälle mit Beteiligung THC-positiver Fahrer in Colorado zugenommen haben, während die Anzahl der Unfälle unter Alkoholeinfluss konstant geblieben war [27]. Meta-Analysen von epidemiologischen Studien haben wiederum gezeigt, dass der Konsum von Cannabis mit einem geringfügig gesteigerten Unfallrisiko einhergeht [28-30].

Länder der Europäischen Union

In den Ländern der Europäischen Union ist der Freizeitkonsum von Cannabis grundsätzlich nicht legal. In den letzten Jahren haben allerdings mehrere Länder den Konsum aus medizinischen Gründen unter bestimmten Bedingungen zugelassen, wie zum Beispiel Irland, Norwegen und Grossbritannien [1]. Die allgemeine Verordnungspraxis reicht von streng bis locker kontrolliert; eine einheitliche Norm besteht derzeit nicht. Die Fahreignung der betroffenen Personen wird meist individuell beurteilt.

4. Evidenzgrundlagen von THC-Grenzwerten

Es hat sich gezeigt, dass es drei Herangehensweisen als Basis für die Regelung von Fahren unter Cannabis gibt, nämlich die Bewertung einer Beeinträchtigung der Fahrfähigkeit sowie zwei Varianten der Definition von sog. „per se“-Grenzwerten. Aufgrund des Fehlens einer standardisierten psychomotorischen Testung für Drogen als alleinige Grundlage zur Bewertung von Fahren nach Cannabiskonsum, stützen sich die untersuchten Staaten mit einer rechtlich definierten Handhabung von Cannabis im Strassenverkehr auf eine „per se“-Grenzwert-Regelung. Dabei unterscheidet man die Staaten mit einer Nulltoleranz, in denen der Grenzwert auf null bzw. auf eine analytische Nachweisgrenze gesetzt wird, von denen, die einen Grenzwert auf der Basis von epidemiologischen Unfallstudien oder von experimentellen Studien festgelegt haben [31].

Bei den meisten Ländern bis zu einem Grenzwert von 1.5 ng/mL im Vollblut handelt es sich um einen analytischen Grenzwert im Sinne einer Nachweisgrenze, so z.B. auch in Deutschland oder in der Schweiz. Das Obergericht Brandenburg beispielsweise hält in einem Urteil fest⁵, dass die Grenzwertkommission in Deutschland Grenzwerte festgelegt hat, bei denen es sich nicht um Gefahrgrenzwerte handelt, ab denen es zu einer Minderung der Leistungsfähigkeit kommt, sondern um rein analytische Grenzwerte, welche sich mit dem wissenschaftlichen Kenntnisstand auch ändern könnten.

In Norwegen und den Niederlanden hingegen handelt es sich um eine evidenzbasierte THC-Grenzwert-Regelung. In Norwegen setzte das Ministerium für Verkehr und Kommunikation medizinische Experten als beratendes Gremium ein, um auf der Basis eines wissenschaftlichen Hintergrundes THC-Grenzwerte festzulegen [32]. Diese basieren denn auch auf experimentellen psychomotorischen und kognitiven Leistungsstudien [33-35]. Die festgelegte Grenzwert-Regelung wird zudem regelmässig entsprechend dem aktuellen Stand der Wissenschaft überprüft und aktualisiert [36]. In den Niederlanden stützt sich die Grenzwert-Regelung auf epidemiologische Studien der Auswirkung von Cannabiskonsum und einem allfälligen Mischkonsum mit Alkohol auf die Verkehrssicherheit [37, 38].

Die Herausforderung bei einer evidenzbasierten „per se“-Grenzwertregelung besteht darin, dass einerseits die Konzentration von THC im Blut von den Konsumgewohnheiten (gelegentlich, häufig oder täglich) und dem individuellen Stoffwechsel abhängt und andererseits im Gegensatz z.B. zum Alkohol eine THC-Konzentration im Blut nicht eins zu eins einer psychoaktiven Wirkung zugeordnet werden kann. THC kann im Blut von häufigen Konsumenten noch länger nach einem Konsumstopp nachweisbar sein, da THC zwischenzeitlich in andere Gewebe (z.B. Fettgewebe) eingelagert und erst verzögert abgebaut und ausgeschieden wird [12]. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Kombination von Cannabis mit Alkohol oder anderen psychoaktiven Substanzen zu einer verstärkten Beeinträchtigung der Fahrfähigkeit führen kann. Dies wurde z.B. bei der Grenzwert-Regelung der Niederlande und Kanada berücksichtigt [37, 39].

⁵ Bundesverwaltungsgericht, Urteil 3 C 3/13, 23.10.2014

Zusätzlich zu den verschiedenen Faktoren, welche die individuelle Wirkung und Konzentration von THC beeinflussen, zeigte sich in epidemiologischen Unfallstudien, dass es bei gewissen THC-Konzentrationen zu weniger Unfällen kam, als aufgrund der experimentellen Studien erwartet worden wäre [39]. Dies wird darauf zurückgeführt, dass THC im Gegensatz zu z.B. Alkohol zu einer eher vorsichtigeren und langsameren Fahrweise führt, welche möglicherweise gewisse Ausfallerscheinungen teilweise kompensiert [31, 40].

4.1 Studienformen und verwendete Methoden

Studienformen

Bisher liegen in der Schweiz kaum Daten über Fahren unter Drogeneinfluss vor, welche nach den einzelnen Betäubungsmittelgruppen aufgeschlüsselt sind (z.B. THC), da diese in den Statistiken^{6,7} nicht separat ausgewiesen werden. Es gibt jedoch zahlreiche internationale Studien, die sich mit den Auswirkungen des Cannabiskonsums auf die Fahrfähigkeit beschäftigt haben. Dazu gehören experimentelle und epidemiologische Studien. Experimentelle Untersuchungen umfassen Laboranalysen und psychomotorische Leistungstests, welche die Auswirkungen von THC auf die Fahrfähigkeit und das Verhalten messen, sowie Testungen in Fahrsimulatoren und Fahrversuche auf abgesperrten oder nicht abgesperrten Strassen. In epidemiologischen Studien wird die Konzentration von THC und seinen Metaboliten bei schwer verletzten oder tödlich verletzten Opfern von Verkehrsunfällen in Blut und Urin gemessen und daraus Rückschlüsse auf das Unfallrisiko und das Verursacherrisiko gezogen. Ein weiterer methodischer Ansatz zur Objektivierung möglicher fahrrelevanter Leistungs- und Verhaltensmängel in Abhängigkeit von der Konsumart, der Konsumdosis und dem Zeitpunkt nach dem Konsum, ist die Meta-Analyse von Ergebnissen durchgeführter Studien [6, 41, 42]. Eine Meta-Analyse integriert und analysiert möglichst systematisch, repräsentativ und objektiv in Form quantitativer Grössen die Ergebnisse verschiedener Einzelstudien zu einer bestimmten wissenschaftlichen Fragestellung.

Messmethoden der Leistungsfähigkeit unter THC-Einfluss

Vom Institut für Rechtsmedizin und Verkehrsmedizin der Universität Heidelberg und dem Institut für Physiologische Psychologie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes der Bundesanstalt für Straßenwesen die Einschränkung der Fahrfähigkeit und der Fahreignung im Zusammenhang mit Cannabiskonsum untersucht [43]. Dabei wurden experimentelle Studien einbezogen, welche das Fahren im Strassenverkehr oder am Fahrsimulator als komplexe und integrative Leistung untersuchten, als auch Studien, welche die einzelnen neuropsychologischen Leistungskomponenten, welche zur Fahrfähigkeit beitragen, getestet haben. Die Studien wurden dabei in verschiedene Gruppen eingeteilt, je nachdem ob sie erstmalige, gelegentliche (Konsumfrequenz bis zu 4 Mal pro Woche) oder häufige (Konsumfrequenz mehr als 4 Mal pro Woche bzw. täglich) Cannabiskonsumern untersuchten und ob unmittelbar nach einem Konsum oder nach einer abstinenten Phase (min. 8 Stunden bis zu 28 Tage) getestet wurde. Zusätzlich wurde auch unterschieden, ob Cannabis geraucht oder oral konsumiert wurde, da die Form der Aufnahme einen erheblichen Einfluss auf das Ausmass und den zeitlichen Verlauf der Wirkung

⁶ Statistik der Administrativmassnahmen in der Schweiz, Gesamtbericht 2019: https://www.astra.admin.ch/dam/astra/de/dokumente/abteilung_strassenverkehrallgemein/admas/admas-gesamtbericht-2019.pdf.download.pdf/ADMAS%20Gesamtbericht%202019.pdf, eingesehen am 29.05.2020

⁷ Unfallstatistik des ASTRA 2019: <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/dokumentation/unfalldaten.html>, eingesehen am 29.05.2020

hat. Ebenso wurden die Auswirkungen eines einzelnen bzw. eines Langzeit-Konsums auf die Psyche und auf die Emotionslage der Studienteilnehmer zusammengefasst. Ein weiterer Aspekt des Berichts befasst sich mit der Analyse von Auffälligkeiten bei polizeilich kontrollierten Strassenverkehrsteilnehmern, die durch die Polizei und den Arzt, welcher die Blutentnahme durchführte, festgestellt wurden. Die Auffälligkeiten wurden mit den analysierten Konzentrationen von THC und weiteren Cannabis-Metaboliten korreliert, mit der Fragestellung, ob höhere Konzentrationen mit vermehrten Auffälligkeiten bei der Verkehrskontrolle und beim Blutentnahmeanwalt einhergehen.

Laut Grotenhermen können experimentelle Studien zum Fahrverhalten unter Cannabiseinfluss oder Erkenntnisse zu unspezifischen Wirkungen und Auswirkungen des akuten bzw. chronischen Cannabiskonsums beispielsweise in Bezug auf die psychomotorischen Fähigkeiten nur abschätzen, ob Cannabis ein Potenzial zur Beeinträchtigung von Fahrfähigkeit und Fahreignung besitzt, nicht jedoch, ob und in welchem Umfang sich dieses Potenzial auch im Strassenverkehr manifestiert. Die Frage, ob Cannabis das Unfallrisiko erhöht, werde am besten durch epidemiologische Untersuchungen beantwortet [44]. Die Methodik einer Meta-Analyse wurde für Cannabis erstmals 1998 von Berghaus et al. verwendet [42]. Basierend auf 66 für qualitativ ausreichend bewerteten Studien fahrrelevanter Leistungen, wie Tracking, Psychomotorik, Reaktionszeit, visuelle Funktionen, Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit, En-/Decodierung, reale Fahrt und Simulatoren, zeigte sich, dass alle diese Leistungen eingeschränkt sein können. Das Ausmass der Leistungsminderungen stieg dabei mit zunehmender Dosis.

Um eine zutreffende Beurteilung des Einflusses von Cannabis auf die Fahrfähigkeit und das Unfallrisiko zu ermöglichen, werden in den folgenden zwei Kapiteln die Ergebnisse der experimentellen und der epidemiologischen Studien dargelegt.

4.2 Experimentelle Studien zur verkehrsrelevanten Leistungsfähigkeit unter THC

Die Beeinträchtigung der Fahrfähigkeit hängt bedeutend von der Zeit seit dem letzten Konsum, der Höhe der Dosis, der Konsumform (Rauchen oder orale Einnahme) und der Gewöhnung ab [45]. Gemäss eines Berichtes der Bundesanstalt für Strassenwesen zum Thema Cannabis und Verkehrssicherheit aus dem Jahr 2006 muss bezüglich Fahrfähigkeit zwischen zwei Situationen unterschieden werden, nämlich der Situation a) innerhalb einer Phase von ca. 4 Stunden nach einem akuten Konsum durch Rauchen bzw. von ca. 8 Stunden nach einem akuten Konsum durch orale Einnahme und der Situation b) während einer „nüchternen“ Phase mit einer Abstinenz von mindestens 24 Stunden [43]. Für beide Situationen zeigen sich in diesem Bericht keine relevanten Unterschiede in Bezug auf die Fahrfähigkeit oder die Fahreignung zwischen einem Erstkonsumenten, einem Gelegenheitskonsumenten oder einem häufigen Konsumenten, weshalb zwischen den unterschiedlichen Konsumententypen im Folgenden nur dann unterschieden wird, wenn sich in den Studien unterschiedliche Ergebnisse ergaben.

Leistungsfähigkeit nach einem akuten Cannabiskonsum

In mehreren Berichten und Studien konnte festgestellt werden, dass Cannabiskonsumern nach einem akuten Konsum generell dazu tendieren, die eigene Leistungsfähigkeit in Bezug auf das Führen eines Motorfahrzeuges realistisch einzuschätzen bzw. eher zu unterschätzen, was zu einer vorsichtigeren Fahrweise führte [43]. Zusätzlich sinke nach einem Cannabiskonsum auch der Wille sich hinter Steuer zu setzen [46]. Dieses Verhalten steht im Gegensatz zur Selbsteinschätzung nach Alkoholkonsum, bei dem es in experimentellen Studien zu einer Selbstüberschätzung, einer erhöhten Risikobereitschaft mit Fahrfehlern und überhöhter Geschwindigkeit kam [40, 47]. Sobald

aber zu Cannabis noch Alkohol oder andere Drogen hinzukamen, konnte die vorsichtigeren Fahrweise nicht mehr nachgewiesen werden [48].

Nach einem Konsum von Cannabis durch Rauchen konnten durch Müller et al. [43] bei einer THC-Dosis von bis zu 0.3 mg/kg Körpergewicht (entsprechend einer Dosis von 22 mg THC bei einem Körpergewicht von 75 kg) bei einer Testfahrt im realen Strassenverkehr lediglich Hinweise auf eine moderate Einschränkung beim Spurhalten festgestellt werden. Ein konsistenter Nachweis einer relevanten Beeinträchtigung ergab sich jedoch nicht, auch nicht bei Tests im Fahrsimulator. Bei einem Test im Flugsimulator, der mit komplexeren Leistungen verknüpft ist als es üblicherweise beim Fahren im Strassenverkehr der Fall ist, konnten während 15 bis 240 Minuten nach dem Rauchen von 19 bzw. 20 mg THC gewisse Einschränkungen bei sehr komplexen Aufgaben festgestellt werden. Für die Autoren ergab sich jedoch daraus kein konsistenter Nachweis von Leistungseinschränkungen. Es wird vermutet, dass allenfalls beeinträchtigte neuropsychologische Einzelleistungen im Rahmen der komplexen Gesamtleistung kompensiert werden können. Inwieweit dann noch Leistungsreserven bestehen, mit welchen auf ausserordentliche Situationen reagiert werden kann, ist bisher noch nicht geklärt. Auf Ebene der einzelnen neuropsychologischen Leistungen konnten nach Rauchen einer Menge ab 6 mg THC bis zu 130 Minuten nach dem Konsum Defizite bei der Feinmotorik festgestellt werden. Diese Leistungskomponente ist nach Meinung der Autoren beim Führen eines Autos zentral und kann auch durch erhöhte Aufmerksamkeit kaum kompensiert werden. Das Rauchen von 11 - 12 mg THC führte bis zu mindestens 25 Minuten nach Rauchbeginn zu deutlichen Einschränkungen der Fahrfähigkeit mit Defiziten bei der selektiven Aufmerksamkeit, der Zeitwahrnehmung sowie der visumotorischen Koordination. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt Robbe in seiner Studie zur Wirkung von Cannabis auf fahrrelevante Leistungen [49]. Die Ergebnisse zeigen, dass in einem Fahrtstest auf freier Fahrbahn 40 Minuten nach Beginn des Rauchens einer THC-Dosis von 0.1 bis 0.3 mg/kg Körpergewicht bei allen Dosen ein signifikant beeinträchtigt Spurhaltevermögen („standard deviation of lateral position“, SDLP) festgestellt werden konnte. Dieses hielt bis zu 2 Stunden nach Rauchbeginn an und war dosisabhängig. Die festgestellten Abweichungen beim Spurhaltevermögen bei einer Dosis von bis zu 0.3 mg/kg entsprachen denjenigen Abweichungen, welche einer BAK von 0.3-0.7‰ zugeordnet werden können. Sämtliche anderen gemessenen Leistungsparameter wurden durch THC nicht signifikant beeinflusst. Der SDLP zeigte sich auch im Vergleich zu anderen Fahrtstestsituationen, z.B. Fahren im Stadtverkehr, als sensibelster Messparameter. Dies wird dadurch begründet, dass dabei die automatische Informationsverarbeitung getestet wird, welche deutlich schlechter aktiv beeinflusst werden kann als die kontrollierten Leistungen, bei welchen Defizite bewusst kompensiert werden können. Im Stadtverkehr und vor allem bei den höheren THC-Dosen waren sich die Fahrer offenbar der THC-Wirkung bewusst und kompensierten diese durch angepasste Geschwindigkeit oder durch das Halten eines etwas grösseren Abstandes zum vorfahrenden Wagen. Ob die Leistungsreserve in Notfallsituationen, bei längeren, monotonen Fahrten oder nach einem Mischkonsum von Alkohol noch genügt, sei jedoch gemäss Autoren noch nicht ausreichend untersucht. Das festgestellte Fahrverhalten stimmt auch mit den Ergebnissen einer australischen Studie überein [50]. Fahrer nach einem THC-Konsum hielten generell einen grösseren Abstand zum vorfahrenden Wagen ein, wobei dieser Effekt dosisabhängig war. Die Fahrer bei einer niedrigeren THC-Dosis schlossen dichter auf als bei einer höheren Dosis. Als weitere spezifische Leistungseinbussen unter THC wurden Fehler beim Spurhalten, und zwar sowohl zur Gegenseite als auch zur Seitenlinie und beim Anhalten festgestellt. Insgesamt waren die Ergebnisse fast identisch zu Vorstudien [33, 51, 52].

Nach Kenntnis der fahrrelevanten Leistungseinschränkungen aus den oben erwähnten Übersichtsarbeiten und den darin enthaltenen Studien wäre es im Hinblick auf die Festlegung eines sog. Toleranz-Grenzwertes, der die THC-Konzentration im Blut wiedergibt bis zu der nicht mit erhebli-

chen Einschränkungen der Fahrfähigkeit zu rechnen ist, wichtig zu wissen, welchen THC-Konzentrationen im Blut die erwähnten Defizite entsprechen. Dies ist allerdings aus pharmakologischer Sicht schwierig, einerseits weil in Studien, welche die Leistungsfähigkeit von Probanden nach der Aufnahme von THC testen nicht gleichzeitig Blutentnahmen durchgeführt werden können, andererseits weil bei THC im Gegensatz zu Alkohol die maximale Konzentration im Blut nicht mit der maximalen Wirkung korreliert. Verschiedene Studien zeigen, dass die physiologischen und subjektiven Effekte beim Rauchen von THC gegenüber der Konzentration im Blut phasenverschoben, d.h. verzögert auftreten [53, 54]. Die maximale Blutkonzentration von THC, die wenige Minuten nach dem Inhalieren von Cannabis erreicht wird, nimmt innerhalb der ersten Stunde sehr schnell wieder ab. Auch die stärksten Beeinträchtigungen, insbesondere im Bereich der „kontrollierten Leistungen“, wie z.B. das Reaktionsverhalten bei unvorhersehbaren zusätzlichen Leistungsanforderungen, hören nach ca. 60 Minuten schon wieder vollständig auf [55]. Auch Müller et al. konnten Leistungseinbussen vor allem für die ersten 120 Minuten nach dem Rauchen nachweisen [43]. Welche THC-Konzentrationen können also in der Phase bis 2 und bis max. 4 Stunden nach dem Rauchen von Cannabis auftreten, in der mit relevanten Leistungseinbussen gerechnet werden muss? Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über Studien, welche bei Probanden zu bestimmten Zeitpunkten nach dem Rauchen einer bestimmten Menge bzw. Dosis THC die THC-Konzentration im Blutplasma gemessen haben. Der Umrechnungsfaktor von Plasma zu Vollblut beträgt 1.6 (s. letzte Spalte, welche die berechneten Werte für Vollblut enthält).

Zeit ab Rauchenbeginn	Quelle	verabreichte Menge / Dosis THC	THC im Plasma (ng/mL)	THC im Vollblut (ng/mL), berechnet
3-10 Minuten	Lukas 1994 [56]	1.24%	25	15.6
	McBurney 1986 [57]	0.15 mg/kg	85 (36.1-177.2)*	53.1
	Ohlsson 1980 [58]	13 mg	77 (33-118)	48.1
	Huestis 1992 [59]	1.7%, ca. 15.8 mg, ca. 0.21 mg/kg	79	49.4
	Perez-Reyes 1988 [60]	2.4%	119	74.4
	Lukas 1994	2.64%	77	48.1
	Huestis 1992	3.55%, ca. 33.8 mg, ca. 0.45 mg/kg	152	95
30 Minuten	Lukas 1994	1.24%	ca. 5	3.1
	Lukas & Orozco 2001 [61]	1.26%	ca. 5	3.1
	McBurney 1986	0.15 mg/kg	41.4	25.9
	Ohlsson 1980	13 mg	ca. 35	21.9
	Huestis 1992	1.7%, ca. 15.8 mg, ca. 0.21 mg/kg	15.5 (8-26)	9.7 (5-16.3)
	Downey 2013 [50]	1.78%	73.46 (SD** 37.36)	45.91 (SD 23.35)
	Lukas & Orozco 2001	2.53%	ca. 15	9.4
	Lukas 1994	2.64%	ca. 15	9.4
	Downey 2013	3.42%	90.06 (SD 38.65)	56.29 (SD 24.16)

	Huestis 1992	3.55%, ca. 33.8 mg, ca. 0.45 mg/kg	25.0 (10.0-51.0)	15.6 (6.3-31.9)
1 – 1.7 Stunden	Huestis 1992	1.7%, ca. 15.8 mg, ca. 0.21 mg/kg	3.2 (2.6-5.3)	2.0 (1.6-3.3)
	Downey 2013	1.78%	38.20 (SD 15.86)	23.88 (SD 9.91)
	Downey 2013	3.42%	44.90 (SD 17.90)	28.06 (SD 11.19)
	Huestis 1992	3.55%, ca. 33.8 mg, ca. 0.45 mg/kg	8.7 (3.4-18.0)	5.4 (2.1-11.3)
2 – 2.2 Stunden	McBurney 1986	0.15 mg/kg	9.8	6.1
	Huestis 1992	1.7%, ca. 15.8 mg, ca. 0.21 mg/kg	2.3 (1.8-4.0)	1.4 (1.1-2.5)
	Berghaus 2010 [6]	0.21 mg/kg	6.5 (4.1-8.3)	4.1 (2.6-5.2)
	Huestis 1992	3.55%, ca. 33.8 mg, ca. 0.45 mg/kg	6.0 (2.6-8.1)	3.8 (1.6-5.1)
4 Stunden	Huestis 1992	1.7%, ca. 15.8 mg, ca. 0.21 mg/kg	0.9 (0-1.3)	0.5 (0-0.8)
	Huestis 1992	3.55%, ca. 33.8 mg, ca. 0.45 mg/kg	1.9 (1.1-2.5)	1.2 (0.7-1.6)

*Werte in Klammern zeigen den minimalen und den maximalen Wert

**SD steht für standard deviation und entspricht der Standardabweichung

Insbesondere in der Phase zwischen 30 Minuten bis zu 2 Stunden zeigen sich diskrepante Werte im Blut, die sich nicht durch die unterschiedliche konsumierte Menge bzw. Dosis THC erklären lassen. Diese lassen sich am ehesten auf die untersuchten Probanden (Gelegenheitskonsumenten oder häufige Konsumenten) und auf das Rauchen, insbesondere die Anzahl Rauchzüge und die Tiefe der Inhalation, zurückführen. Aus der Übersicht der Werte ergibt sich jedoch übereinstimmend, dass ab 2 Stunden nach Rauchbeginn keine THC-Konzentrationen von über 10 ng/mL im Blutplasma, entsprechend THC-Konzentrationen im Blutserum von über 12.5 ng/mL und im Vollblut von über 6.25 ng/mL, mehr festgestellt werden konnten.

Zahlreiche Studien haben die fahrrelevante Leistungsfähigkeit von Probanden in Abhängigkeit von der gemessenen THC-Konzentration im Blut untersucht, und einige Übersichtsarbeiten und Berichte haben diese bereits zur Beantwortung unterschiedlicher Fragestellungen zusammengefasst. Es ist allerdings darauf zu achten, dass die publizierten Werte z.T. im Blutplasma, z.T. im Blutserum oder auch im Vollblut gemessen wurden und daher entsprechend umgerechnet werden müssen (Umrechnungsfaktoren für Werte im Vollblut: Werte im Blutserum dividiert durch Faktor 2, Werte im Blutplasma dividiert durch Faktor 1.6). Im Folgenden werden die berechneten Werte für Vollblut, wie sie in der Schweiz üblich sind, in Klammern und kursiv angegeben.

Vollrath und Krüger stellten in ihrer Übersicht fest [40], dass bei einer Konzentration zwischen 6 und 8 ng/mL THC im Serum (3 - 4 ng/mL) die kontrollierten Handlungen (charakterisiert durch eine hohe Bewusstheit und Beanspruchung von zentraler Kapazität, z.B. die simultane Verarbeitung von mehreren kontrollierten Prozessen) mit einer Einschränkung von ca. 25% am deutlichsten beeinträchtigt sind. Im Gegensatz dazu sind bei diesen THC-Konzentrationen automatisierte Handlungen (solche die beim Fahren als Ganzes abgerufen werden und dann ohne zentrale Kontrolle durchgeführt werden, z.B. Anfahren, wenn die Ampel auf „grün“ springt) und Realfahrten nur zu ca. 10% beeinträchtigt. Bis 6 ng/mL THC (3 ng/mL) sind die kontrollierten Handlungen um ca. 10-15% beeinträchtigt, die automatischen Handlungen und Realfahrten jedoch nur geringfügig bis zu 5%.

In einer Studie von Hartmann et al. wurden in Tests am Fahrsimulator die beeinträchtigende Wirkung von Alkohol und THC anhand des Spurhaltevermögens der Probanden direkt miteinander verglichen [62]. Die Probandengruppe umfasste sowohl gelegentliche als auch häufige Cannabiskonsumenten. Es wurde festgestellt, dass die Probanden bei einer mittleren Konzentration von 8.2 ng/mL THC im Blutserum (4.1 ng/mL) im gleichen Masse von der Fahrspur abwichen wie bei einer BAK von 0.5‰. Laut Ramaekers et al. nehmen die Leistungseinbussen mit steigender THC-Konzentration im Blut zu. Die ersten Anzeichen von Einschränkungen wurden zwischen 2 und 5 ng/mL im Blutserum (1 - 2.5 ng/mL) nachgewiesen [63]. Die Versuche von Möller et al. ergaben, dass in einem Konzentrationsbereich von 2 - 5 ng/mL THC im Blutserum (1 - 2.5 ng/mL) signifikante Beeinträchtigungen in der Feinmotorik auftreten können, deren Relevanz er für das Führen eines Fahrzeuges jedoch in Frage stellt [64]. Bei einer Netzwerktagung in Nürnberg im Jahr 2005 wurden schliesslich Ergebnisse präsentiert, die darlegten, dass eine THC-Konzentration von 7 - 8 ng/mL im Blutserum (3.5 – 4 ng/mL) einer Beeinträchtigung wie durch eine BAK von 0.5‰ entspreche [65].

Die orale Aufnahme ist deutlich weniger gut untersucht [43, 46]. Aufgrund der Pharmakokinetik ist bei einer Resorption über den Verdauungstrakt mit einer gegenüber dem Rauchen verzögerten Wirkung zu rechnen. Das Wirkungsmaximum tritt mit bis zu drei Stunden Verzögerung nach dem Essen ein [66, 67] und hält je nach Dosis 4 bis 12 Stunden an [22]. Aus der verzögerten Wirkung ergibt sich eine schwierigere Dosierung für Gelegenheitskonsumenten und die Gefahr möglicher, subjektiv empfundener Überdosierungen. Es zeigte sich auch bei oralem Konsum eine deutliche Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit bei gelegentlichen und häufigen Cannabis-Konsumenten [68]. Insgesamt zeigt sich auch ein ähnliches Beeinträchtigungsprofil der neuropsychologischen Leistungsfähigkeit. Defizite konnten 90-115 Minuten nach der Einnahme von 12 mg THC nachgewiesen werden [43]. In der DRUID-Studie wurden 21 Studien mit 482 Wirkungen nach einer oralen Dosis von 7.5 bis 39 mg THC zu einer Meta-Analyse zusammengefasst [45]. Die Autoren kamen zum Ergebnis, dass die von 3.7 ng/mL THC im Blutserum (Bereich 3.1 bis 4.5 ng/mL) (1.9 ng/mL, 1.55 - 2.25 ng/mL) verursachte Beeinträchtigung derjenigen entspricht, die durch eine Blutalkoholkonzentration (BAK) von 0.5‰ verursacht wird.

Unterschiede zwischen häufigem und gelegentlichem Cannabiskonsum

Aus pharmakologischer Sicht ist bisher nicht geklärt, inwiefern residuales THC im Blut, welches nicht auf einen Konsum von THC in den letzten 24 Stunden zurückzuführen ist, sondern durch häufigen, aber länger zurückliegenden Konsum bedingt ist, noch eine Wirkung hat bzw. noch mit einer fahrrelevanten Leistungseinschränkung verbunden sein kann.

In einer australischen Studie wurde das Fahrverhalten von gelegentlichen und häufigen Cannabiskonsumenten im Rahmen einer doppelblinden Crossover-Studie in verschiedenen Testszenarien (Fahren auf abgesperrter Fahrbahn, Fahren auf nicht abgesperrter Fahrbahn und Fahren im Stadtverkehr) untersucht [50]. Es ergaben sich signifikante Unterschiede bei verschiedenen Leistungskomponenten zwischen den beiden Gruppen. Insgesamt traten deutlich mehr Fahrfehler bei den häufigen Cannabiskonsumenten auf. Wie die Autoren selber feststellen, steht dieses Ergebnis im Gegensatz zu Vorstudien, welche das Gegenteil zeigten [55, 69, 70].

Tönnies et al. stellten in einer Studie, die sich mit der Pharmakokinetik von Cannabinoiden bei häufigen (> als 4 Mal pro Woche) und gelegentlichen (max. 1 Mal pro Woche) Konsumenten beschäftigte, hingegen fest, dass bei den meisten häufigen Cannabiskonsumenten bereits in der Blutprobe vor dem studienbedingten Rauchen THC-Konzentrationen von bis zu 12.3 ng/mL im Blutserum vorhanden waren [71]. In den 8 Stunden nach dem Rauchen verlief die Verteilung und Ausscheidung in beiden Gruppen vergleichbar, und die Konzentration kehrte im Mittel etwa auf das initiale

Niveau zurück. Die Autoren warnen deshalb, dass eine residuale THC-Konzentration bei häufigen Konsumenten auch nach einer Abstinenz von mehr als 24 Stunden kaum von einer vergleichbar hohen Konzentration nach einem akuten Konsum bei Gelegenheitskonsumenten unterschieden werden könne.

Bei einer mindestens 24 Stunden dauernden Abstinenz konnten keine Defizite, weder bei Gelegenheitskonsumenten noch bei häufigen Konsumenten, konsistent nachgewiesen werden [43]. Es bestehen jedoch gewisse Hinweise auf eine eingeschränkte Leistungsreserve während bis zu 72 Stunden nach einem Konsum. Langfristige Leistungseinbussen im Sinne einer residualen Wirkung konnten hingegen nicht festgestellt werden. Daher ergaben sich bei einer Abstinenz auch nach einem langjährigen häufigen Cannabiskonsum für Müller et al. keine Hinweise darauf, dass die Fahreignung durch einen früheren chronischen Konsum eingeschränkt sein sollte.

Leistungsfähigkeit bei Mischkonsum von Cannabis und Alkohol

Bei Blutalkoholkonzentrationen zwischen 0.3 und 0.8‰ führt die Wechselwirkung von Cannabis und Alkohol zu Einbussen in allen wichtigen Leistungsbereichen, die grösser sind als die Alkohol- oder Cannabiswirkung allein [42]. Downey et al. zeigten, dass Alkohol die fahrrelevante Leistungsfähigkeit nach Rauchen eines 1.78% THC-haltigen Joints um 17% reduzierte bzw. um 21% nach Rauchen eines 3.42% THC-haltigen Joints [50]. Die Blutuntersuchungen zeigten auch, dass die THC-Konzentration im Blut bei gleichzeitigem Alkoholkonsum höher stieg als wenn kein Alkohol konsumiert worden war. Dieser Effekt war bei den häufigen Konsumenten ausgeprägter als bei den gelegentlichen Konsumenten. Die Fahrleistungen aller Testpersonen unter dem kombinierten Einfluss von Cannabis und Alkohol waren deutlich schlechter als mit Cannabis oder Alkohol allein. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit den Resultaten einer Auswertung von Daten aus dem Fatality Analysis Reporting System (FARS) der National Highway Traffic Safety Administration von Dubois et al. [72]. Diese nennen bereits als Ausgangslage ihrer Studie, dass es deutliche Hinweise auf einen additiven Effekt von Alkohol und THC gibt [39, 49, 73-77], allerdings auch einzelne Studien, welche keinen additiven Effekt gefunden haben [37, 78, 79]. Alkoholisierte Fahrer mit einer BAK von 0.5‰, welche THC-negativ waren, zeigten bereits ein 66% höheres Risiko (sog. odds ratio, OR = 1.66) für einen sicherheitsrelevanten Fahrfehler als nüchterne Fahrer [72]. Die Kombination von THC mit einer BAK von 0.5‰ ergab ein um 81% erhöhtes Risiko (OR = 1.81). Interessant war auch, dass der additive Effekt von Alkohol und THC bei niedrigen Blutalkoholkonzentrationen viel deutlicher war als bei höherem Alkoholisierungsgrad. Bei einer BAK von 0.3‰ zeigte sich bei THC-negativen Fahrern ein erhöhtes Risiko mit einer OR von 1.35, während THC-positive Fahrer ohne Alkohol eine OR von 1.16 aufwiesen. Die Kombination einer BAK von 0.3‰ und einem positiven THC-Nachweis ergab eine OR von 1.53.

4.3 Epidemiologische Studien zu THC und Strassenverkehrsunfälle

Cannabis ist, nach Alkohol und Medikamenten, die relevanteste Wirksubstanz im Strassenverkehr und bei Fahren unter Drogen insgesamt die am häufigsten vorkommende Substanz. Studien zu Fahren unter Drogeneinfluss dokumentieren, dass Cannabinoide in der Hälfte aller kontrollierten Blutproben nachgewiesen werden konnten und damit neben Alkohol die am häufigsten vorkommende Substanz war [16, 80]. Dies wird auch in anderen Studien bestätigt [40, 81, 82]. Im Rahmen der DRUID-Studie, welche in den Jahren 2006-2011 durchgeführt wurde, betrug die Prävalenz von THC bei motorisierten Strassenverkehrsteilnehmern allgemein und bei im Strassenverkehr verletzten oder getöteten Fahrern in allen an DRUID teilnehmenden Ländern durchschnittlich 1.37% [45]. Dies war etwa ein Drittel der Alkoholprävalenz. Verschiedene Untersuchungen stellten fest, dass

THC bei 4 - 14% der Verletzten oder Getöteten nachgewiesen werden konnte [73]. In einer Studie aus Frankreich stellten Laumon et al. fest, dass rund 2.5% der tödlichen Unfälle auf Cannabiskonsum zurückgeführt werden können, eine sehr geringe Zahl verglichen mit ca. 30%, die auf Alkohol zurückzuführen waren [37]. In den USA ist die Prävalenz von THC im Strassenverkehr von 5.6% im Jahr 2007 auf 12.6% in den Jahren 2013 bis 2014 angestiegen [83]. Für die Schweiz gibt es, da THC in den Statistiken nicht separat erfasst wird, keine spezifischen Daten zur Prävalenz von THC im Strassenverkehr. Cavegn et al. fassen in einem Bericht der Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) zusammen, dass aufgrund internationaler Daten geschätzt wird, dass 1 - 10% der Motorfahrzeuglenkenden in der Schweiz unter dem Einfluss einer illegalen Droge (so auch Cannabis) oder eines Medikaments mit möglicher Einschränkung der Fahrfähigkeit unterwegs sind [84]. Dies steht in Übereinstimmung mit den offiziellen Unfalldaten von 2002 bis 2006, dass 2.6% der Personen, welche in einen schweren Unfall verwickelt waren, unter Drogenverdacht standen. Um jedoch den Einfluss von THC auf das Unfallrisiko zu zeigen, reichen Prävalenzstudien nicht aus, da sie nur eine bestimmte Art von Fahrern untersuchen, nämlich die der Gruppe von Verletzten und Getöteten [85]. Dafür sind Fall-Kontroll-Studien besser geeignet, welche die Prävalenz einer Fallgruppe von verletzten oder getöteten Fahrern mit der einer Kontrollgruppe von zufällig ausgewählten Autofahrern vergleicht, welche nicht in einen Unfall verwickelt waren. Auch geeignet sind Verursacherstudien, in denen bei Unfällen die Gruppe der Unfallverursacher mit der der weiteren Unfallbeteiligten verglichen werden. Das relative Risiko, dass ein Fahrer unter dem Einfluss von THC in einen Unfall verwickelt ist, wird als odds ratio (OR) ausgedrückt, wobei ein OR = 1 bedeutet, dass das Risiko gleich ist wie das einer nüchternen Person. Ein OR > 1 zeigt ein grösseres Unfallrisiko der Fallgruppe an (z.B. ein OR = 2.4 entspricht einem 2.4-fachen oder einem 240% höheren Risiko), ein OR < 1 ein geringeres Risiko.

In verschiedenen Fall-Kontroll-Studien wurde das Unfallrisiko für Fahrer unter dem Einfluss von Alkohol und Drogen untersucht [86-90]. Es zeigt sich, dass das Unfallrisiko (d.h. die OR) bei einem Nachweis von Cannabismetaboliten zwischen 0.3 und 2.3 war, d.h. gegenüber nüchternen Fahrern reduziert oder bis zu mehr als doppelt so hoch. Die Ergebnisse sind jedoch kritisch zu sehen, da die meisten Studien methodische Einschränkungen aufweisen, z.B. indem ein Konsum von weiteren Substanzen nicht berücksichtigt wurde [89], die Fallzahl der ausschliesslich THC-positiven Fahrern sehr gering und damit nicht aussagekräftig war [88], nur männliche Personen eingeschlossen wurden [86], nicht nur THC sondern auch THC-COOH als positiven Nachweis von THC gewertet wurde, und der Nachweis in Blut oder Urin erfolgte [88-90] oder das Ergebnis gar nicht mehr signifikant war, wenn andere Faktoren wie riskantes Fahrverhalten bei jungen Männern einbezogen wurden [87]. Auch die Ergebnisse von Kuypers et al., die einem positiven Nachweis von THC ein signifikant erhöhtes Unfallrisiko attestieren, stützen sich auf lediglich 5 Fälle [91]. Zudem leiden Fall-Kontroll-Studien in der Regel daran, dass zufällig angehaltene Fahrer für die Kontrollgruppe einer Studienteilnahme nicht unbedingt zustimmen, wenn sie Substanzen konsumiert haben, und dass dadurch die Kontrollgruppe auswahlbedingt weniger Substanznachweise oder geringere Konzentrationen zeigt, als es tatsächlich dem von unauffälligen Autofahrern entspricht. Dubois et al. zeigen in einer Auswertung von Daten von ca. 149'000 Personen aus dem Fatality Analysis Reporting System (FARS) der National Highway Traffic Safety Administration, dass wenn die Faktoren Alter, Geschlecht, Alkohol, Mischkonsum von mehreren Drogen oder Medikamenten und die Fahrerfahrung berücksichtigt wurden, Fahrer mit einem positiven THC-Nachweis mit einer OR von 1.16 (95% Konfidenzintervall: 1.082 – 1.255) ein leicht erhöhtes Risiko für einen sicherheitsrelevanten Fahrfehler aufwiesen im Vergleich zu THC-negativen Fahrern [72]. Bereits eine BAK von 0.2‰ zeigte bei THC-negativen Fahrern jedoch ein höheres Risiko mit einer OR von 1.24. Bei einer BAK von 0.5‰ war die OR 1.66.

Eine Verursacherstudie von Longo et al. zeigt, dass bei Fahrern mit einem positiven THC-Nachweis, wobei hier nicht nur THC sondern auch THC-COOH berücksichtigt wurde, das Risiko einen Unfall zu verursachen gegenüber der Vergleichsgruppe ohne Alkohol oder Drogen sogar leicht tiefer war (OR = 0.82) [92]. Es gab allerdings Hinweise darauf, dass bei THC-Konzentrationen > 2 ng/mL im Vollblut das Risiko erhöht war (OR = 1.8). Allerdings erfolgte die Probennahme der Blutproben mehr als 1 Stunde nach dem Ereignis, so dass davon auszugehen ist, dass die THC-Konzentrationen zum Ereigniszeitpunkt bedeutend höher gewesen sein dürften. Das Risiko bei Alkohol allein war bei einer BAK < 0.5‰ mit einem OR von 1.9 sogar noch grösser. Auch andere Studien kamen zum Ergebnis, dass bei höheren THC-Konzentrationen das Verursacherrisiko steigt [93, 94]. Die bisher umfassendste Verursacherstudie von Drummer et al. (auch zusammengefasst in [67]) zeigt, dass Fahrer mit THC-Konzentrationen im Vollblut von weniger als 5 ng/mL als auch Fahrer mit einem Nachweis von THC-COOH allein (ohne THC) kein erhöhtes Unfallverursacherrisiko gegenüber nüchternen Fahrern zeigen (OR < 1.0) [39]. Bei THC-Konzentrationen von > 5 ng/mL (mit einem Konzentrationsbereich von 5 – 100 ng/mL im Vollblut) war das Risiko mit einer OR von 6.6 (95% Konfidenzintervall von 1.5 – 28) jedoch deutlich erhöht.

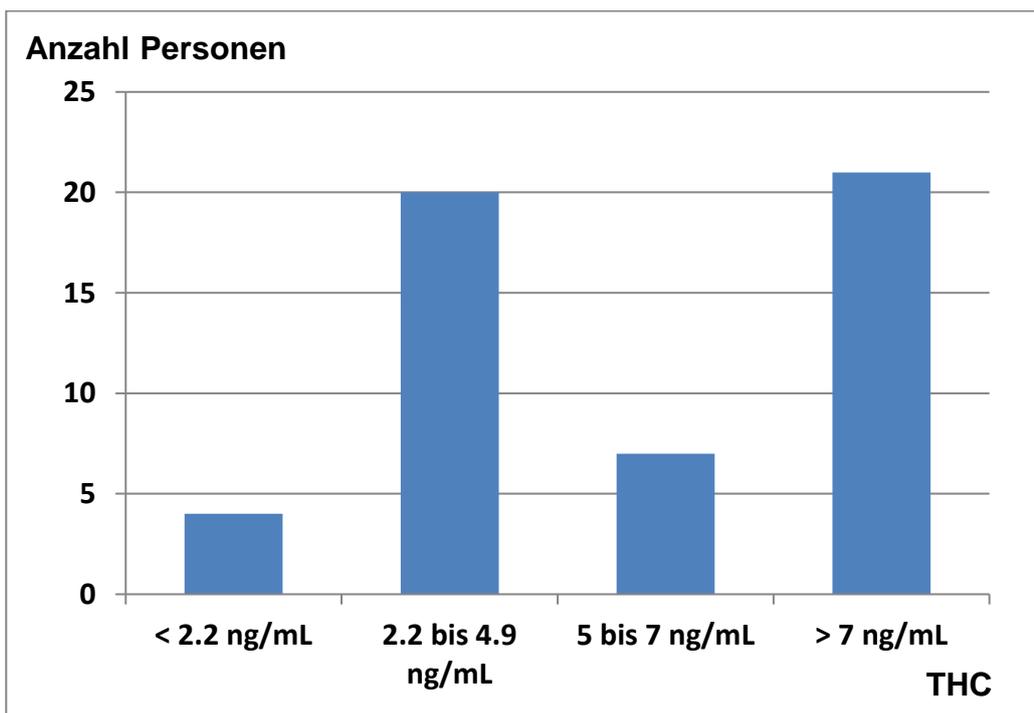
Meta-Analysen und Übersichtsarbeiten von epidemiologischen Fallstudien stellen insgesamt - verglichen mit Autofahrern ohne jegliche Beeinflussung - ein erhöhtes Unfallrisiko mit einer OR von 1.3 – 2.7 bei Fahrern mit einem positiven THC-Nachweis fest, wenn nicht nach der THC-Konzentration differenziert wird [28, 45, 95]. Zahlreiche Studien zeigen aber, dass deutliche konzentrationsabhängige Unterschiede auf das Unfallrisiko zu erwarten sind [39, 40, 92-94]. Es gibt Hinweise darauf, dass niedrige THC-Konzentrationen mit einem geringeren Unfallrisiko (OR < 1) verbunden sind, andererseits zeigt sich, dass ab einer THC-Konzentration im Vollblut von > 5 ng/mL das Risiko signifikant ansteigt [31, 39]. Experimentelle Studien und Meta-Analysen veranschlagen das Verletzungsrisiko bei Autofahrern mit THC im Vergleich zu nüchternen Fahrern mit einer OR von 0.5 bis 2 [45]. Die Autoren stellen damit fest, dass THC deutlich weniger beeinträchtigend erscheint als die meisten anderen untersuchten Stoffe und vor allem Alkohol.

5. Beurteilung von Fahrfähigkeit und Fahreignung bei THC

5.1 Analyse von Fahrfähigkeitsgutachten

Die in die Analyse einbezogenen Personen waren alle zu einer Fahreignungsabklärung Stufe 4 zugewiesen worden, da sie zuvor wegen des Konsums von THC oder Fahren unter Drogen (FuD) mit einem THC-Nachweis auffällig geworden waren.

Das folgende Diagramm zeigt die Anzahl Fälle mit THC-Konzentrationen im Vollblut bis zu 2.2 ng/mL entsprechend dem Bereich, welcher unter dem derzeitigen Grenzwert inklusive des Toleranzbereichs von 30% liegt, von 2.2 bis 4.9 ng/mL, von 5 bis 7 ng/mL und grösser 7 ng/mL.

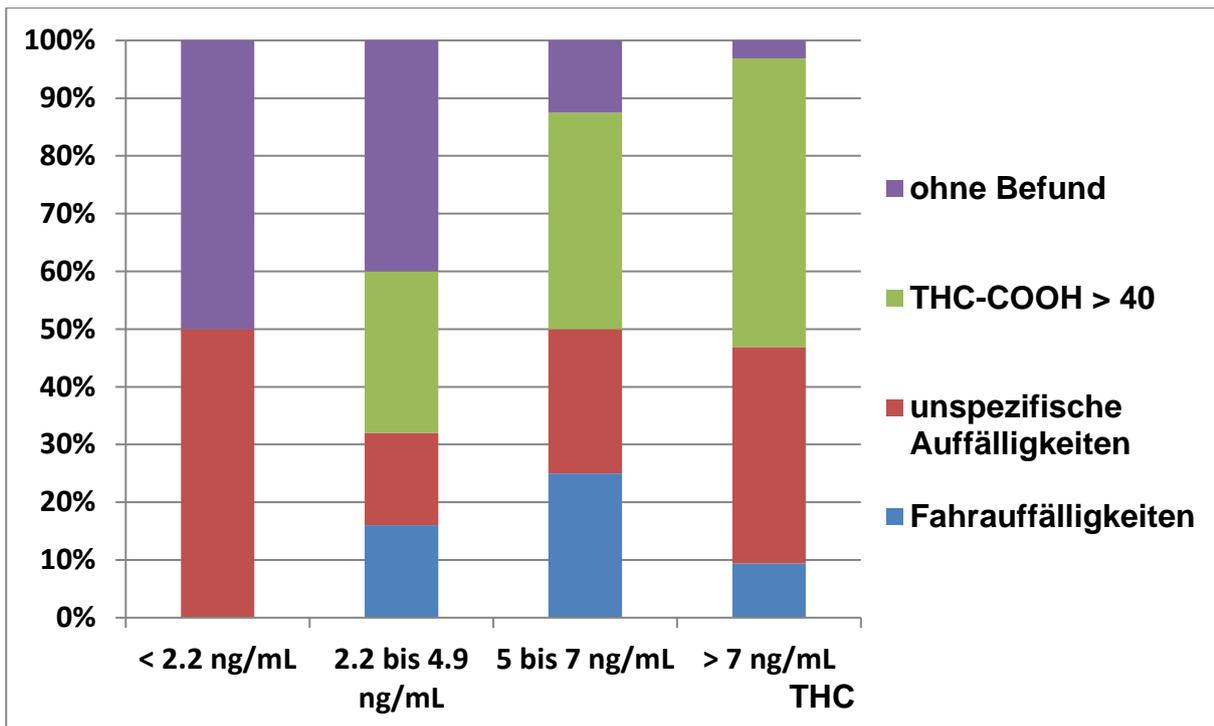


Nur bei 4 Personen lag ein THC-Wert unter 2.2 ng/mL vor. Dies ist wenig erstaunlich, da unter Berücksichtigung der 30% Toleranz erst ab einer Konzentration von 2.2 ng/mL der geltende Grenzwert für THC überschritten wird und damit in der Regel zu einer Stufe 4-Begutachtung führt. Eine Person wurde wegen der Angabe eines mehr als gelegentlichen Konsums zugewiesen. In den anderen Fällen war der Zuweisungsgrund nicht eruiert. Es zeigt sich zudem, dass allein die nach ASTRA überschrittenen THC-Grenzwerte Grund für eine verkehrsmedizinische Fahreignungsabklärung waren. In keinem Fall erfolgte eine Zuweisung zur Fahreignungsbegutachtung allein aufgrund einer THC-Carbonsäure-Konzentration ≥ 40 ng/mL. Fast die Hälfte der untersuchten Personen (21 Personen, 40%) wiesen THC-Werte von mehr als 7 ng/mL auf. Der höchste gemessene THC-Wert lag bei 26 ng/mL.

Die Analyse der Gruppen von THC-Fällen in den verschiedenen THC-Konzentrationsbereichen in Bezug auf das Vorliegen von Befunden, welche mit einem Cannabiskonsum assoziiert sein können (Fahrauffälligkeiten bzw. Verwicklung in ein Unfallereignis, unspezifischen Auffälligkeiten wie z.B. gerötete Augen, weite Pupillen, verlangsamte Reaktion, welche durch die Polizei und/oder den blutentnehmenden Arzt dokumentiert wurden und einer Konzentration von THC-COOH > 40 ng/mL; Mehrfachnennungen kommen vor), zeigt in Übereinstimmung mit der Literatur eine klare Abhängigkeit von der THC-Konzentration. In der Gruppe mit THC-Konzentrationen > 7 ng/mL

waren lediglich 2 Personen unauffällig. Das Vorhandensein einer THC-COOH Konzentration > 40 ng/mL, angewendet als Kriterium für einen mehr als gelegentlichen Konsum, ist bei höheren THC-Konzentrationen klar wahrscheinlicher als bei niedrigeren Konzentrationen < 5 ng/mL.

Bei allen Personen, bei denen durch die Polizei und/oder den blutentnehmenden Arzt unspezifische Auffälligkeiten dokumentiert worden waren, betrug die zeitliche Differenz zwischen der Anhaltung durch die Polizei und der Untersuchung durch einen Arzt weniger als 5 Stunden, in der Hälfte der Fälle sogar weniger als 1 Stunde. Die Annahme, dass entweder von der Polizei oder von den untersuchenden Ärzten Ausfallserscheinungen festgestellt werden müssten, wenn die Probanden hohe THC-Werte aufweisen, lässt sich anhand der internen Falldaten jedoch nicht stützen.



5.2 Medizinal-Cannabis und Fahrfähigkeit

Standardisierte Untersuchungen, die Auskunft zu den erwartbaren Wirkstoffspiegeln nach der Einnahme von Cannabis-Arzneimitteln geben, liegen aktuell nicht vor und hängen zudem von der Administrationsform (inhalativ oder oral) und -dosierung ab. Auch der Einfluss von Medizinal-Cannabis auf die Fahrfähigkeit lässt sich nicht pauschal beurteilen, da die Fahrfähigkeit und die Fahreignung auch durch die zugrundeliegende Krankheit nicht gegeben sein könnten. Die Therapie mit einem Cannabisprodukt könnte sogar zu einer Verbesserung der Fahrfähigkeit führen oder auch eine Fahreignung erst wieder herstellen. So haben beispielsweise Patienten, die an Multipler Sklerose erkrankt waren, eine subjektive Verbesserung ihrer Fahrfähigkeit durch die Einnahme eines oromukosalen THC-haltigen Sprays festgestellt [96]. Generell ist davon auszugehen, dass sich die Wirkungen von ärztlich verschriebenen Produkten nicht wesentlich von denen der illegalen Substanzen unterscheiden. Zudem müssen allfällige Gewöhnungseffekte infolge einer Dauereinnahme mitbeachtet werden.

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 stellt eine Ausnahmegewilligung dar, so wie dies auch bei

Personen, die sich in Substitutionsprogrammen befinden, der Fall ist. Die Zulassung zum motorisierten Strassenverkehr sollte daher erst nach einer die Fahreignung befürwortenden verkehrsmedizinischen Begutachtung erfolgen. Dies ist den rezeptierenden Ärzten häufig nicht bewusst, so dass die Fahreignung momentan noch nicht regelhaft durch einen Stufe 3- oder Stufe 4-Arzt überprüft wird. Dies kann aber für die Betroffenen zu heiklen Situationen führen. Personen, welche Cannabis-Arzneimittel einnehmen und anlassbezogen im Strassenverkehr kontrolliert werden, werden einer Untersuchung wegen des Verdachts auf Fahren unter Drogen (FuD) unterzogen, insbesondere dann, wenn ein Vortest positiv ausfällt oder die Einnahme von Cannabisprodukten angegeben wird. Die Fahrfähigkeit wird dann unabhängig des vorliegenden Grenzwertes für THC individuell im Rahmen eines Drei-Säulen-Gutachtens beurteilt, wie es auch bei den anderen ärztlich verordneten Substitutionstherapien (z.B. Methadon, Heroin) der Fall ist. Die Beobachtungen der Polizei und des blutentnehmenden Arztes werden zusammen mit den forensisch-toxikologischen Befunden (Urin- und Blutanalysen) durch einen Sachverständigen beurteilt. Hinzu kommt, dass weder die Vortests (Urin, Speichel) noch die anschliessenden Urin- und Blutanalysen eine sichere Differenzierung zwischen illegal erworbenem und aufgenommenem THC und der Einnahme von Cannabis-Arzneimitteln erlauben. Sollten sich die Befunde mit den Konsumangaben von Cannabis-Arzneimitteln vereinbaren lassen, wird jedoch in der Regel nicht von einem illegalen Beikonsum ausgegangen. Eine vorgängige Fahreignungsabklärung erweist sich jedoch bei der Beurteilung der Fahrfähigkeit als hilfreich.

Bei der Fahreignungsbegutachtung wird geprüft, inwiefern die Grunderkrankung(en) und die zur Therapie eingesetzten Medikamente die körperliche, kognitive und auch charakterliche Leistungsfähigkeit beeinträchtigen. Zudem wird ein möglicherweise koexistierender Betäubungsmittel- und Alkoholüberkonsum abgeklärt. Häufig wird vor der abschliessenden Beurteilung noch eine verkehrspsychologische Begutachtung notwendig, um die kognitive und charakterliche Leistungsfähigkeit umfassend abzuklären. Nur wenn sich keine die Fahreignung einschränkenden oder aufhebenden Befunde ergeben, wird die Fahreignung, in der Regel unter Auflagen wie z.B. einer Alkoholfahrabstinenz, befürwortet.

5.3 THC-Carbonsäure und Fahreignung

Für die Unterscheidung eines einmaligen, gelegentlichen oder häufigen Konsums wird die Konzentration von nicht konjugiert vorliegender (freier) THC-Carbonsäure (THC-COOH) im Vollblut als Marker benutzt. Werte von 40 ng/mL oder höher deuten mit hoher Wahrscheinlichkeit auf einen häufigen Konsum hin [4, 13].

Die SGRM hat sich darauf geeinigt, einen Cannabiskonsum von bis 2 Mal pro Woche als gelegentlichen Konsum und einen Cannabiskonsum von mehr als 2 Mal pro Woche als einen mehr als gelegentlichen bzw. häufigen Konsum zu bezeichnen [SGRM Sektion VM, 01/2014]⁸. Bei Fahren unter Cannabiseinfluss geht die Rechtsprechung bei einer THC-COOH Konzentration ≥ 40 ng/mL im Blut unabhängig von der THC-Konzentration - zumindest in der Theorie - von einem regelmässigen Cannabiskonsum aus und stellt die Indikation einer verkehrsmedizinischen Abklärung der Fahreignung. Auch bei Konsumangaben von mehr als 2 Mal pro Woche ist derzeit eine verkehrsmedizinische Abklärung vorgesehen. Studien zeigen jedoch, dass zwischen der THC-COOH Vollblutkonzentration von ≥ 40 ng/mL und der Fahreignung kein signifikanter Zusammenhang besteht [39, 43, 97]. Fahrer, bei denen der Konsum schon länger zurücklag, die nicht mehr unter einer akuten Wirkung von Cannabis standen, sondern lediglich positiv auf das Abbauprodukt THC-

⁸ www.sgrm.ch/inhalte/Verkehrsmedizin/Merkblatt_THC-UP_SGRM_25.1.2014-d.pdf; Zugang vom 09.01.2020

COOH getestet wurden, waren nicht häufiger Verursacher von Unfällen als nüchterne Fahrer [39, 95, 98].

6. Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Fahrfähigkeit kann akut durch Einfluss berauschender Mittel - so auch THC - beeinträchtigt sein. Der Beeinträchtigungsgrad hängt unter anderem von der Ausgangsmenge, der Cannabissorte mit entsprechendem THC-Gehalt, der Art des Konsums (inhalativ oder oral) und der Zeit seit dem Konsum ab. Es gibt verschiedene Vorgehensweisen, die Cannabisauswirkungen zu untersuchen. Dazu gehören experimentelle Studien, wie z.B. Laborstudien, Untersuchungen der Fahrleistung in Fahrsimulatoren, Fahrtests auf abgesperrten Strassen oder im realen Verkehr, sowie epidemiologische Studien von Verkehrsbeteiligten mit verletzten oder tödlich verunglückten Fahrern als Fall-Kontroll-Studien, Verursacherstudien sowie Meta-Analysen von Studien sowie Übersichtsarbeiten [41].

Eine dosis- und konzentrationsabhängige Beeinträchtigung der verkehrsrelevanten Leistungsfähigkeit konnte in experimentellen Studien nachgewiesen werden [21, 41]. Cannabiskonsumenten, die innerhalb einer Stunde THC geraucht und Auto gefahren waren und sich im Zeitraum der maximalen Wirkung befanden, waren 1.5 bis 2 Mal häufiger in einen Autounfall verwickelt als Nichtkonsumenten [99]. Nach dem Rauchen von Cannabis ist die Fahrfähigkeit in der Regel nach zwei bis vier Stunden wieder hergestellt und das Unfallrisiko scheint nicht mehr erhöht. Die Dauer hängt insbesondere von der aufgenommenen THC-Menge ab [28, 43, 49, 65, 67, 100]. Erste Zeichen einer Beeinträchtigung wurden in einem Bereich zwischen 2 – 5 ng/mL THC im Blutserum (*1 – 2.5 ng/mL im Vollblut⁹*) festgestellt, übereinstimmend zeigte sich bei Konzentrationen bis 6 ng/mL THC (*3 ng/mL*) eine Beeinträchtigung der kontrollierten Handlungen um ca. 10 – 15% [40, 63]. Einschränkungen, welche dem einer BAK von 0.5‰ entsprechen, fanden sich gemäss mehreren Studien in einem Konzentrationsbereich von > 5 – 8.2 ng/mL THC im Blutserum (*> 2.5 – 4.1 ng/mL*) [31, 42, 62, 67]. Die DRUID-Studie stimmt damit nicht überein, sondern gibt an, dass auf der Basis einer Meta-Analyse experimenteller Studien bereits eine Serumkonzentration von 3.8 ng/mL THC (*ca. 2 ng/mL*) dieselben Wirkungen verursache wie eine BAK von 0.5‰ [45]. Die experimentell getestete fahrrelevante Leistungsfähigkeit alleine lässt allerdings keine Rückschlüsse über die tatsächliche Gefährdung durch Motorfahrzeuglenker unter dem Einfluss von THC zu.

Epidemiologische Studien zeigen, dass ein positiver THC-Nachweis mit einem nur geringfügig erhöhten Risiko (OR = 1.16) für einen sicherheitsrelevanten Fahrfehler oder Unfall verbunden ist [28-30, 72]. Konzentrationsabhängig steigt das Risiko ab einer Konzentration von 5 ng/mL im Vollblut deutlich an (OR = 6.6) [39]. Übereinstimmend wird in zahlreichen Studien gezeigt, dass Alkohol mit deutlich grösseren Unfall- und Unfallverursacher-Risiken verbunden ist als THC und zwar bereits in geringeren Konzentrationen als bei einer BAK von 0.5‰ [45, 101]. Auch addieren sich die negativen Wirkungen von THC und Alkohol (sowie weiterer Drogen und Medikamente) auf die Fahrfähigkeit, so dass das Unfallrisiko gegenüber einer einzelnen Substanz deutlich erhöht ist [22, 33, 102]. Methodische Limitierungen mit Einfluss auf deren Interpretation sind allerdings auch bei vielen epidemiologischen Studien vorhanden. Blut- und Urinproben können bei Unfallbeteiligten in der Regel erst einige Stunden nach dem Unfall entnommen werden [21, 41, 101]. In dieser Zeit wird THC abgebaut, so dass in den Proben deutlich niedrigere Werte gemessen werden, als sie zur Ereigniszeit bestanden haben dürften. Dies könnte die Studienergebnisse verfälscht haben. Urin ist zudem generell nicht geeignet, eine akute Beeinflussung durch Substanzen festzustellen.

⁹ Alle Werte in Klammern und kursiv beziehen sich auf Messungen im Vollblut.

Im Rahmen der DRUID-Studie sowie einer Expertenrunde zu DUIC („Driving under the Influence of Cannabis“) wurden Empfehlungen zu THC-Grenzwerten ausgesprochen [6, 31, 45, 67]. Die Autoren der DRUID-Studie empfehlen eine THC-Konzentration von durchschnittlich 3.8 ng/mL im Blutserum (*1.9 ng/mL im Vollblut*) gestützt auf eine Meta-Analyse experimenteller Studien als empirische Basis für eine Diskussion über einen Grenzwert. Zusätzlich sollte ein zusätzliches Konfidenzintervall berücksichtigt werden, das dem Messfehler Rechnung trägt. Sie erwähnen allerdings, dass Norwegen und die Niederlande im Laufe von DRUID auf der Basis einer Expertendiskussion über eine untere Wirkungsgrenze, d.h. die niedrigste Konzentration, bei der eine Auswirkung auf die Fahrfähigkeit beobachtet wird, und einen Risiko-Grenzwert entsprechend einer Blutkonzentration, die ein gewisses Unfallrisiko oder Fahrbeeinträchtigung beinhaltet, einen THC-Risiko-Grenzwert von 3 ng/mL im Vollblut festgelegt haben. Die Expertenrunde zu DUIC um Grotenhermen et al. fassen die verschiedenen wissenschaftlichen Erkenntnisse von experimentellen und epidemiologischen Studien zusammen und empfehlen auf dieser Basis einen Toleranzgrenzwert im Bereich von 3.5 – 5 ng/mL THC im Vollblut.

Bezüglich eines häufigen Konsums von Cannabis zeigte sich, dass THC-COOH-positive Fahrer nicht häufiger Unfälle verursachten als abstinente Fahrer [39, 98] und dass bei einer mindestens 24 Stunden dauernden Abstinenz keine Defizite mehr konsistent nachgewiesen werden konnten [43]. Auch zeigten sich keine Hinweise, dass das Unfallrisiko bei THC-COOH-positiven Fahrern oder bei häufigen Cannabiskonsumern erhöht wäre, sofern kein akuter Konsum stattgefunden hatte [39, 67]. Claudio Reich vom Strassenverkehrsamt Kanton Graubünden stellte in seiner Arbeit über die Analysen von Fahreignungsuntersuchungen im Kanton Graubünden von 2013 bis 2016 fest, dass die Höhe des THC-COOH-Gehalts keinen signifikanten Einfluss auf das Resultat der Fahreignung hat [97]. In unserer Auswertung der Fahreignungszuweisungen wegen THC aus dem Jahr 2017 gab es keinen Fall, bei dem ein alleiniger Befund von THC-Carbonsäure ≥ 40 ng/mL zu einer Fahreignungsbegutachtung geführt hatte.

6.1 Empfehlungen für THC-Grenzwerte im Strassenverkehr

Studien zeigen, dass THC-Konzentrationen von ca. 3.0 – 4.1 ng/mL im Vollblut Beeinträchtigungen verursachen, die denjenigen entsprechen, die bei einer BAK von 0.5‰ gemessen werden können. Das Unfallrisiko ist gemäss unserer Literaturrecherche bis 5 ng/mL nicht massgeblich erhöht bzw. liegt unter dem einer BAK von 0.5‰. Unsere Ergebnisse der Auswertung der Fahrfähigkeitsgutachten bestätigen, dass bei höheren THC-Konzentrationen, welche die meisten innerhalb von 4 Stunden seit einem Cannabiskonsum gemessen wurden, mehr Fahrauffälligkeiten auftraten und häufiger Auffälligkeiten festgestellt wurden.

Aus unserer Sicht ergeben sich im Wesentlichen 3 Varianten, welche unterschiedliche Vor- und Nachteile haben und zudem von politisch zu beantwortenden Fragen abhängen. Die Varianten beziehen sich generell auf eine Ausgangssituation, in der es anlassbezogen, z.B. aufgrund eines Verkehrsunfalls, Fahrauffälligkeiten oder sonstigen Gründen, zu einer verkehrspolizeilichen Kontrolle eines Fahrzeugführers kommt und sich Zweifel an der Fahrfähigkeit ergeben. Im Folgenden werden die Varianten aus wissenschaftlicher Sicht diskutiert sowie einige Aspekte der praktischen Umsetzbarkeit aufgezeigt. Zusätzlich wird auf die Fragen hingewiesen, welche die Wahl der Variante entscheidend beeinflussen.

Variante 1

Der Grenzwert verbleibt auf der analytischen Nachweisgrenze von 1.5 ng/mL THC. Unter Berücksichtigung eines Toleranzbereichs von 30%, der den Messfehler einschliesst, entspricht der Grenzwert einer THC-Konzentration im Vollblut von 2.1 ng/mL. Die Fahruntfähigkeit ist somit ab 2.2 ng/mL erwiesen und geht mit einer Abklärung der Fahreignung einher. Bis 2.1 ng/mL ist der Grenzwert nicht mit genügender Sicherheit erreicht. Bei Auffälligkeiten bezüglich Fahrweise oder bei anderen durch die Polizei oder den blutentnehmenden Arzt festgestellten Auffälligkeiten wird die Fahrfähigkeit auch bei THC-Konzentrationen unterhalb des Grenzwerts in einem individuellen Drei-Säulen-Gutachten beurteilt. Ebenso wird verfahren, wenn die Person die Einnahme von ärztlich verschriebenen Cannabis-Arzneimitteln angibt.

- Aus wissenschaftlicher Sicht liegt der Grenzwert etwa an der experimentell bestimmten unteren Wirkungsgrenze. Das heisst, ab dieser Konzentration ist mit ersten Einschränkungen der Leistungsfähigkeit zu rechnen. Diese Einschränkungen sind allerdings nicht zwingend fahrrelevant und sind stark von der konsumierten Dosis, von der Konsumart (Rauchen oder oral) sowie von der Dauer seit dem Konsum abhängig.
- Dieser Grenzwert lässt sich gestützt auf die epidemiologische Evidenz nicht mit einem erhöhten Unfall- und Verursacherrisiko rechtfertigen, da dieses sich bis 5 ng/mL THC nicht signifikant von dem von nüchternen Fahrern unterscheidet.
- Es ist damit zu rechnen, dass ein erheblicher Anteil der Personen, welchen aufgrund der Überschreitung des Grenzwerts eine fehlende Fahrfähigkeit attestiert wird, eigentlich fahrfähig wäre, da diese zum Zeitpunkt des Fahrens gar nicht unter einer einschränkenden Wirkung von THC standen (falsch positive Fälle). Zusätzlich erfolgt dann in allen diesen Fällen eine Abklärung der Fahreignung, welche mit erheblichem Aufwand für die Personen selbst, aber auch der Strassenverkehrsämter und der verkehrsmedizinischen Sachverständigen verbunden ist.
- Die Anzahl der falsch negativen Fälle, d.h. Personen, die trotz einer beeinträchtigenden Wirkung von THC fahren, dürfte relativ klein sein. Sie ist abhängig von der Kontrollfrequenz, von der Schulung der Verkehrspolizei und der blutentnehmenden Ärzte in Bezug auf die Feststellung von Auffälligkeiten bei kontrollierten Personen und von der Zeit, welche zwischen der Kontrolle und der Blutentnahme verstreicht. Personen, bei welchen eine THC-Konzentration unterhalb des Grenzwerts festgestellt wird, die aber Auffälligkeiten bei der Kontrolle gezeigt haben, werden individuell bezüglich ihrer Fahrfähigkeit begutachtet, so dass Massnahmen gegenüber tatsächlich beeinträchtigten Fahrern auch bei sehr geringen THC-Konzentrationen niederschwellig getroffen werden können.
- Mit einem Grenzwert auf der analytischen Nachweisgrenze bzw. der unteren Wirkungsgrenze gilt für Cannabis eine Nulltoleranz. Damit wird Cannabis nicht gleich wie Alkohol behandelt, obwohl aufgrund der wissenschaftlichen Evidenz bezüglich Strassenverkehrssicherheit THC als wesentlich weniger beeinträchtigend einzuordnen ist als Alkohol.

Variante 2

Der Grenzwert wird auf eine THC-Konzentration im Vollblut von 3 ng/mL festgelegt. Unter Berücksichtigung der harmonisierten Messungenauigkeit der akkreditierten Laboratorien, d.h. eines Toleranzbereichs, von 30% ist die Fahruntfähigkeit ab einer Konzentration von 4.3 ng/mL erwiesen und geht mit einer Abklärung der Fahreignung einher. Bis 4.2 ng/mL ist der Grenzwert nicht mit genügender Sicherheit erreicht. Bei Auffälligkeiten bezüglich Fahrweise oder bei anderen durch die Polizei oder den blutentnehmenden Arzt festgestellten Auffälligkeiten wird die Fahrfähigkeit auch bei

THC-Konzentrationen unterhalb des Grenzwerts in einem individuellen Drei-Säulen-Gutachten beurteilt. Ebenso wird verfahren, wenn die Person die Einnahme von ärztlich verschriebenen Cannabis-Arzneimitteln angibt.

- Aus wissenschaftlicher Sicht entspricht dieser Grenzwert einem sog. Risiko-Grenzwert, der ein gewisses Unfallrisiko oder gewisse Fahrbeeinträchtigungen beinhaltet. Das Unfallrisiko unterscheidet sich auf Basis der epidemiologischen Evidenz jedoch bis zu dieser THC-Konzentration und darüber hinaus bis zu 5 ng/mL nicht signifikant von dem nüchternen Fahrer. Der Grenzwert erscheint ohne relevanten negativen Einfluss auf die Verkehrssicherheit vertretbar.
- Die experimentell basierte Evidenz zur Einschränkung der Leistungsfähigkeit zeigt, dass ab 3–4 Stunden nach einem einmaligen Rauchkonsum von Cannabis nicht mit THC-Konzentrationen über diesem Grenzwert zu rechnen ist. Bei einer THC-Konzentration von 3–4 ng/mL zeigen Studien eine Beeinträchtigung von automatisierten Handlungen von ca. 10% und von kontrollierten Handlungen von ca. 25%. Die Fahrspurabweichung entsprach bei 4.1 ng/mL der, wie sie bei einer BAK von 0.5‰ festgestellt wird. Aus wissenschaftlicher Sicht entspricht dieser Grenzwert etwa dem Risiko und den Einschränkungen, welche einer BAK von 0.5‰ entsprechen. Zudem trägt der etwas höhere Grenzwert denjenigen Konsumenten Rechnung, welche häufiger Cannabis konsumieren und deshalb residuale, aber nicht mehr wirksame THC-Konzentrationen aufweisen.
- Bei diesem Grenzwert ist mit einer deutlich geringeren Anzahl falsch positiver Fälle zu rechnen, da es sich dabei um einen wirkungsorientierten Risiko-Grenzwert handelt. Die Sanktion der Fahrer mit THC-Konzentrationen über dem Grenzwert lässt sich evidenzbasiert gut rechtfertigen.
- Eine Erhöhung der Anzahl der falsch negativen Fälle im Vergleich zu Variante 1 ist nicht zu erwarten, da Personen, bei welchen eine THC-Konzentration unterhalb des Grenzwerts festgestellt wird, individuell bezüglich ihrer Fahrfähigkeit begutachtet werden, so dass Massnahmen gegenüber tatsächlich beeinträchtigten Fahrern auch bei sehr geringen THC-Konzentrationen niederschwellig getroffen werden können.
- Variante 2 bedeutet eine Abkehr von der Nulltoleranz gegenüber Cannabis im Strassenverkehr, welche unabhängig von einer Legalisierung des Konsums zu betrachten ist. Mit diesem Risiko-Grenzwert wird Cannabis in Bezug auf den Strassenverkehr ähnlich wie Alkohol behandelt.
- Da eine generelle Zuweisung zur Fahreignungsbegutachtung erst bei Erreichen des Grenzwerts vorgesehen ist, nimmt die Anzahl der Personen, die wegen Cannabis einer Fahreignungsbegutachtung zugewiesen werden, ab. Dies zieht im Vergleich zur aktuellen Situation einen geringeren Aufwand der Strassenverkehrsämter und der verkehrsmedizinischen Sachverständigen nach sich.
- Dieser Grenzwert ist bereits in drei Ländern, Norwegen, Niederlande und Portugal, in Kraft.

Variante 3

In Anlehnung an das mehrstufige System der Blutalkoholkonzentrationsbereiche 0.5‰ / 0.8‰ / 1.6‰, welche mit unterschiedlichen Administrativ- und Strafmassnahmen verbunden sind, sowie an die Praxis in einzelnen anderen Ländern, in denen bei gleichzeitigem Nachweis von Alkohol oder anderen Drogen ein anderer, niedrigerer Grenzwert gilt, werden 2 Grenzwerte definiert, wobei diese bereits einen Toleranzbereich von 30% beinhalten.

Der untere Grenzwert verbleibt - wie bei Variante 1 - unter Berücksichtigung des Toleranzbereichs bei 2.2 ng/mL THC im Vollblut. Ab 2.2 ng/mL werden Administrativmassnahmen angeordnet. Eine Fahrunfähigkeit ist bei Erreichen dieses Grenzwerts jedoch nicht erwiesen, und es erfolgt auch

keine generelle Zuweisung zur Fahreignungsabklärung. Dies ist erst bei Erreichen des oberen Grenzwertes der Fall, der - wie bei Variante 2 - auf 4.3 ng/mL festgelegt wird. Bei Auffälligkeiten bezüglich Fahrweise oder bei anderen durch die Polizei oder den blutentnehmenden Arzt festgestellten Auffälligkeiten, wird die Fahrfähigkeit auch bei THC-Konzentrationen unterhalb des oberen Grenzwerts in einem individuellen Drei-Säulen-Gutachten beurteilt. Ebenso wird verfahren, wenn die Person die Einnahme von ärztlich verschriebenen Cannabis-Arzneimitteln angibt. Bei gleichzeitigem Nachweis von Alkohol ab einer BAK von $\geq 0.3\text{‰}$ oder anderen Drogen gilt die Fahrunfähigkeit jedoch bereits ab dem unteren Grenzwert von 2.2 ng/mL als erwiesen, und es erfolgt eine Abklärung der Fahreignung.

- Dieses 2-stufige Grenzwertsystem trägt aus wissenschaftlicher Sicht der tatsächlichen Beeinträchtigung und dem Unfallrisiko am besten Rechnung und stellt eigentlich eine Erweiterung der Variante 2 dar. Generell gilt ein Risiko-Grenzwert, welcher die Anzahl der falsch positiven Fälle gegenüber Variante 1 deutlich verringert, zusätzlich aber gegenüber Variante 2 die falsch negativen Fälle reduziert, da die Kombination mit Alkohol oder anderen Drogen zusätzlich sanktioniert wird. Die strengere Handhabung eines kombinierten Konsums von THC und Alkohol ist gestützt auf die wissenschaftliche Evidenz dringend zu empfehlen, da das Unfallrisiko bei einer Kombination überproportional erhöht ist.
- Variante 3 bietet die Möglichkeit, die Administrativ- und Strafmassnahmen differenzierter einzusetzen, ähnlich wie es beim Blutalkohol bereits Praxis ist. Allerdings ist zu erwarten, dass die Fallbearbeitung dadurch komplexer wird und mit mehr Aufwand verbunden sein dürfte.
- Der kombinierte Konsum von THC und Alkohol oder anderen Drogen muss nachgewiesen werden, da er andere Konsequenzen nach sich zieht als ein isolierter Konsum von Cannabis. Das bedeutet, dass bei Verkehrskontrollen bei Verdacht auf THC-Konsum generell auch auf Alkohol getestet werden muss, und dass zum Nachweis von THC entnommene Blutproben zusätzlich auf Alkohol und ggf. andere Drogen analysiert werden müssen.
- Es ist zu erwarten, dass die Anzahl der Fahreignungsabklärungen im Vergleich zu heute und zu Variante 1 sich nicht massgeblich ändert. Einerseits erfolgt eine Reduktion der Fahreignungsbegutachtungen wegen isoliertem Cannabiskonsum, andererseits kommt es zu einer Steigerung der Fahreignungsabklärungen bei Konsumenten, welche THC in Kombination mit Alkohol oder anderen Drogen konsumieren. Dies ist im Hinblick auf die Strassenverkehrssicherheit empfehlenswert.

Kernfragen

Folgende Fragen sind nicht aus wissenschaftlicher Sicht, sondern aus politischer Sicht zu beantworten. Sie beeinflussen aber die zukünftige Strategie bezüglich des THC-Grenzwerts im Strassenverkehr und eine allfällige Entscheidung für eine andere Variante entscheidend.

1. Soll weiterhin eine Nulltoleranz gegenüber Cannabis gelten oder soll Cannabis im Strassenverkehr ähnlich wie Alkohol behandelt werden?

→ Die Nulltoleranz wird beibehalten:

Damit fällt die Entscheidung für Variante 1, der Grenzwert verbleibt auf der analytischen Nachweisgrenze, welche unter Berücksichtigung einer Toleranz etwa der experimentell bestimmten unteren Wirkungsgrenze entspricht.

→ Cannabis soll im Strassenverkehr ähnlich wie Alkohol behandelt werden:

Damit fällt die Wahl auf Variante 2 oder 3. Prinzipiell wird ein Risiko-Grenzwert definiert, der ein Unfallrisiko und gewisse Einschränkungen der Leistungsfähigkeit beinhaltet, die nicht höher

sind, als es einer Blutalkoholkonzentration von 0.5‰ entspricht. In jedem Fall empfehlen wir den derzeit angewandten Toleranzbereich von 30%, welcher die analytische Messunsicherheit beinhaltet, beizubehalten, da dies die praktische Umsetzung eines Grenzwerts ermöglicht.

2. Soll die Fahrfähigkeit von Personen, die aufgrund ihrer Fahrweise oder bei Verkehrskontrollen auffällig erscheinen oder in einen Verkehrsunfall verwickelt sind und daher kontrolliert werden, und eine THC-Konzentration im Blut unter dem jeweiligen Grenzwert weiterhin individuell mittels eines sog. Drei-Säulen-Gutachtens geprüft werden?

→ Ja:

Dies ist aus wissenschaftlicher Sicht zu empfehlen, da damit die Fahrfähigkeit dann individuell und differenziert beurteilt wird, wenn Hinweise auf eine akute Wirkung vorliegen, auch wenn der Grenzwert unterschritten wird. Allerdings bedeutet jeder Vorgang, welcher einen konkreten Fall differenziert beurteilt, mehr Aufwand an Personal und Kosten als ein standardisiertes Vorgehen. Zusätzlich kostet die Begutachtung Zeit, während der die Betroffenen in der Regel einen Führerausweisenzug haben. Soll die Begutachtung mittels Drei-Säulen-Gutachten bei Auffälligkeiten beibehalten werden, sind alle Varianten möglich.

→ Nein:

Da in diesem Fall keine individuelle Beurteilung der Fahrfähigkeit bei THC-Konzentrationen unter dem Grenzwert bei Verdacht auf eine akute THC-Wirkung erfolgt, ist von den Varianten 2 und 3 eher abzuraten. Da bei diesen beiden Varianten ein Risiko-Grenzwert gilt, ist zu erwarten, dass bei einzelnen Personen auch unter diesem Wert Wirkungen da sein können, welche zu einer Fahrunfähigkeit führen, wenn sie innerhalb von 4 Stunden nach dem Konsum einer geringen Menge Cannabis ein Motorfahrzeug lenken.

3. Wann sollen Personen im Strassenverkehr bei einem Verdacht auf Cannabis (und sonstige Drogen / Medikamente) kontrolliert werden können?

→ Bei einem Anfangsverdacht, der sich z.B. auf beobachtete Fahrauffälligkeiten, ein Unfallgeschehen, auf sonstige unspezifische Auffälligkeiten oder weitere Feststellungen stützt:

Damit bleibt die Anzahl der falsch negativen Fälle unabhängig von der Wahl der Variante unverändert, da Personen, bei welchen kein Anfangsverdacht besteht, aber trotzdem unter einer akuten THC-Wirkung stehen, nicht kontrolliert werden.

→ Anlassfrei, wie dies derzeit für Alkohol gilt:

Damit könnte die Anzahl der falsch negativen Fälle gegenüber heute unabhängig von der Wahl der Variante reduziert werden.

4. Sollen ein positiver THC-Nachweis unabhängig von der Konzentration im Blut, das Mitführen von Cannabis oder die Angabe eines häufigen Konsums von Cannabis (mehr als 2 Mal / Woche) allein bereits Anlass für die Infragestellung der Fahrfähigkeit / Fahreignung sein?

Dieses Vorgehen lässt sich evidenzbasiert nicht stützen. Es gibt keine wissenschaftlichen Hinweise darauf, dass das Unfallrisiko bei häufigen Cannabiskonsumenten oder bei THC-COOH-positiven Fahrern erhöht wäre, sofern kein akuter Konsum stattgefunden hat. Eine Unterscheidung zwischen häufigem (> 2 Mal pro Woche) und gelegentlichem Konsum (≤ 2 Mal pro Wo-

che), welche derzeit mittels der THC-COOH-Konzentration erfolgt, ist zwar grundsätzlich möglich, erübrigt sich aber, da sich daraus keine Relevanz für die Fahrfähigkeit oder Fahreignung von Personen und damit auch keine Relevanz für die Strassenverkehrssicherheit ergibt.

6.2 Aspekte der Umsetzbarkeit

Rein theoretisch sind sowohl die aktuelle Variante eines einzigen Grenzwerts als auch eine mehrstufige Variante denkbar. Die Problematik besteht aber (analog zu Alkohol) darin, dass man nachvollziehbar belegen müsste, ab welchen Werten, welche konkreten Ausfallerscheinungen nachgewiesen werden können, damit eine mehrstufige Möglichkeit überhaupt Sinn macht. Bereits heute sind die diesbezüglich vergleichbaren Alkoholabstufungen zwischen 0.79‰ und 0.8‰ mit krass unterschiedlichen Strafen und Massnahmen versehen (Verwarnungen vs. 3-monatige Entzüge), obwohl bei einer solch kleinen Differenz wohl keine relevanten Unterschiede in der Wirkung aufgezeigt werden können. Dies bringt eine Mehrstufigkeit jedoch in allen Fällen mit sich, da irgendwo die Grenzen gezogen werden müssen.

Bei der einstufigen Variante unter Beibehaltung des aktuellen Grenzwerts wird der tatsächlichen Wirkung und Beeinflussung zu wenig Gewicht geschenkt, und es werden so rasch relativ geringe Ausfallerscheinungen mit starken Ausfallerscheinungen in einen Topf geworfen, wodurch eine individuelle Einzelfallbehandlung nicht wirklich möglich erscheint, und es zu gewissen Ungerechtigkeiten kommen kann. Es zeigen somit alle Varianten gewisse Schwierigkeiten in der praktischen Anwendung. Schlussendlich steht und fällt v.a. eine mehrstufige Variante mit der Frage nach der Fahreignung. Sind jeweils bereits bei der ersten Stufe Fahreignungsuntersuchungen angezeigt, so braucht es auch keine weiteren Abstufungen in den höheren Bereichen, wodurch eine Mehrstufigkeit von vorneherein unbrauchbar wird.

Wenn man bei einem mehrstufigen Modell die Analogie zum Alkoholmodell zieht, stellen sich bei den Cannabis-Fällen dieselben Fragen. Zunächst muss definiert werden können, ab wann eine Fahreignungsproblematik angenommen werden muss. Aktuell ist diese Grenze gleich bemessen wie diejenige der Fahrunfähigkeit. Wenn es nun Werte gibt, bei welchen die Fahrfähigkeit zwar verneint wird und gleichzeitig aber noch keine Fahreignungsprobleme angenommen werden müssen, so würde dies die Möglichkeit für normale Warnungsmassnahmen ohne weitere Fahreignungsuntersuchungen eröffnen. In Anlehnung an die Alkoholmassnahmen wären sodann leichte und schwere Widerhandlungen denkbar, bevor man in eine zwingende Fahreignungsuntersuchung steigen müsste.

Je nachdem, ob eine neue Einstufung sowohl die Warnungsentzüge als auch die Fahreignungsmassnahmen betreffen würde, wären insbesondere folgende Bestimmungen betroffen, welche ersetzt, angepasst oder ergänzt werden müssten:

- Art. 15d Abs. 1 lit. b, Art. 16a Abs. 1, Art. 16b Abs. 1, Art. 16c Abs. 1 lit. c, 91 Abs. 2 lit. b Strassenverkehrsgesetz (SVG, SR 741.01)
- Art. 2 Verkehrsregelverordnung (VZV, SR 741.11)
- Art. 31 Abs. 1 Strassenverkehrskontrollverordnung (SKV, 741.013)

Aktuell werden aufgrund der Nulltoleranzregelung faktisch mehr Personen vorsorglich vom Verkehr ausgeschlossen, als tatsächlich Fahrfähigkeits- bzw. Fahreignungsprobleme aufweisen, da es nicht um einen Wirkungswert geht. Mit einem Wirkungswert könnte diese offensichtliche (und vom Gesetzgeber tolerierte) Fehlerquote verkleinert werden. Auf die Verkehrssicherheit würde dies jedoch keine negativen Auswirkungen haben, sofern tatsächliche Wirkungsgrenzen definiert werden könnten. So würden nur noch diejenigen provisorisch oder permanent vom Verkehr ausgeschlossen, welche tatsächlich verkehrsgefährdend wären.

Die aktuelle Nulltoleranz hingegen lässt es zu, dass auch Personen in Abklärungen geraten oder den Ausweis an Ort und Stelle hinterlegen müssen, welche keine tatsächlichen (Wirkungs-) Probleme aufweisen. Dies fördert jedoch die Verkehrssicherheit nicht, da diese Personengruppe eben gerade keine Probleme aufweist.

Somit lässt sich festhalten, dass die Verkehrssicherheit mit oder ohne Umstellung auf etwa demselben Level gehalten werden kann, sofern die Wirkungsgrenzen «richtig» gestellt werden können.

7. Referenzen

1. EMCDDA, *Cannabis and driving - Questions and answers for policymaking*. 2018, Publications Office of the European Union: Luxembourg.
2. Sahli, M., *Keine Toleranz: Wer fährt, kifft nicht*. Contact, Zeitschrift der Schweizerischen Fachstelle für Alkohol- und andere Drogenprobleme, 2004(3): p. 6-7.
3. Huestis, M.A., *Pharmacokinetics and metabolism of the plant cannabinoids, delta9-tetrahydrocannabinol, cannabidiol and cannabinol*. Handb Exp Pharmacol, 2005(168): p. 657-90.
4. Hadener, M., et al., *Assessing cannabis consumption frequency: Is the combined use of free and glucuronidated THCCOOH blood levels of diagnostic utility?* Drug Test Anal, 2017. **9**(7): p. 1043-1051.
5. Newmeyer, M.N., et al., *Free and Glucuronide Whole Blood Cannabinoids' Pharmacokinetics after Controlled Smoked, Vaporized, and Oral Cannabis Administration in Frequent and Occasional Cannabis Users: Identification of Recent Cannabis Intake*. Clin Chem, 2016. **62**(12): p. 1579-1592.
6. Berghaus, G., G. Sticht, and W. Grellner, *Meta-analysis of empirical studies concerning the effects of medicines and illegal drugs including pharmacokinetics on safe driving*. DRUID 6th Framework Programme. 2010: BAST.
7. Karschner, E.L., et al., *Plasma cannabinoid pharmacokinetics following controlled oral delta9-tetrahydrocannabinol and oromucosal cannabis extract administration*. Clin Chem, 2011. **57**(1): p. 66-75.
8. Corrigan, D., *Chapter 3 - The pharmacology of cannabis: issues for understanding its use. A cannabis reader: global issues and local experiences 2008*, EMCDDA: Lissabon. p. 27-37.
9. Odell, M.S., et al., *Residual cannabis levels in blood, urine and oral fluid following heavy cannabis use*. Forensic Sci Int, 2015. **249**: p. 173-80.
10. Verstraete, A.G., *Detection times of drugs of abuse in blood, urine, and oral fluid*. Ther Drug Monit, 2004. **26**(2): p. 200-5.
11. Desrosiers, N.A., et al., *Phase I and II Cannabinoid Disposition in Blood and Plasma of Occasional and Frequent Smokers Following Controlled Smoked Cannabis*. 2014. **60**(4): p. 631-643.
12. Grotenhermen, F., *Pharmacokinetics and pharmacodynamics of cannabinoids*. Clin Pharmacokinet, 2003. **42**(4): p. 327-60.
13. Fabritius, M., et al., *THCCOOH concentrations in whole blood: are they useful in discriminating occasional from heavy smokers?* Drug Test Anal, 2014. **6**(1-2): p. 155-63.
14. Hadener, M., et al., *Cannabinoid concentrations in confiscated cannabis samples and in whole blood and urine after smoking CBD-rich cannabis as a "tobacco substitute"*. Int J Legal Med, 2019. **133**(3): p. 821-832.
15. Wanniarachige, D., *Drugged driving: Canada's laws lag behind*. Cmaj, 2015. **187**(8): p. E235-e236.
16. GHSA. *Drug Impaired Driving*. 2019 16. Septmeber]; Available from: www.ghsa.org.
17. Lane, T.J. and W. Hall, *Traffic fatalities within US states that have legalized recreational cannabis sales and their neighbours*. Addiction, 2019.
18. Christophersen, A.S., et al., *International trends in alcohol and drug use among vehicle drivers*. Forensic Sci Rev, 2016. **28**(1): p. 37-66.
19. Romano, E., R.B. Voas, and B. Camp, *Cannabis and crash responsibility while driving below the alcohol per se legal limit*. Accid Anal Prev, 2017. **108**: p. 37-43.
20. Aydelotte, J.D., et al., *Fatal crashes in the 5 years after recreational marijuana legalization in Colorado and Washington*. Accid Anal Prev, 2019. **132**: p. 105284.
21. Compton, R.P., *Marijuana-Impaired Driving - A Report to Congress*. 2017, National Highway Traffic Safety Administration Washington DC.
22. Wolff, K. and A. Johnston, *Cannabis use: a perspective in relation to the proposed UK drug-driving legislation*. Drug Test Anal, 2014. **6**(1-2): p. 143-54.

23. Chow, R.M., et al., *Driving Under the Influence of Cannabis: A Framework for Future Policy*. *Anesth Analg*, 2019. **128**(6): p. 1300-1308.
24. Lynch, J. and L. McMahon, *Recreational marijuana and impaired driving*, I.I. Institute, Editor. 2019: New York.
25. NSW, *Centre for Road Safety, Drug Testing*. 2019, NSW Government: New South Wales.
26. Wong, K., J.E. Brady, and G. Li, *Establishing legal limits for driving under the influence of marijuana*, in *Inj Epidemiol*. 2014. p. 26.
27. Salomonsen-Sautel, S., et al., *Trends in fatal motor vehicle crashes before and after marijuana commercialization in Colorado*. *Drug Alcohol Depend*, 2014. **140**: p. 137-44.
28. Asbridge, M., J.A. Hayden, and J.L. Cartwright, *Acute cannabis consumption and motor vehicle collision risk: systematic review of observational studies and meta-analysis*. *BMJ Clinical research*, 2012. **344**: p. e536-e536.
29. Li, M.C., et al., *Marijuana use and motor vehicle crashes*. *Epidemiologic reviews*, 2012. **34**(1): p. 65-72.
30. Rogeberg, O. and R. Elvik, *The effects of cannabis intoxication on motor vehicle collision revisited and revised*. *Addiction*, 2016. **111**(8): p. 1348-59.
31. Grotenhermen, F., et al., *Developing limits for driving under cannabis*. *Addiction*, 2007. **102**(12): p. 1910-7.
32. Vindenes, V., et al., *Detection of drugs of abuse in simultaneously collected oral fluid, urine and blood from Norwegian drug drivers*. *Forensic Sci Int*, 2012. **219**(1-3): p. 165-71.
33. Ramaekers, J.G., H.W. Robbe, and J.F. O'Hanlon, *Marijuana, alcohol and actual driving performance*. *Hum Psychopharmacol*, 2000. **15**(7): p. 551-558.
34. Lenne, M.G., et al., *The effects of cannabis and alcohol on simulated arterial driving: Influences of driving experience and task demand*. *Accid Anal Prev*, 2010. **42**(3): p. 859-66.
35. Ronen, A., et al., *Effects of THC on driving performance, physiological state and subjective feelings relative to alcohol*. *Accid Anal Prev*, 2008. **40**(3): p. 926-34.
36. Communications, N.M.o.T.a., *Driving under the influence of non-alcohol drug – legal limits implemented in Norway*, N.M.o.T.a. Communications, Editor. 2014.
37. Laumon, B., et al., *Cannabis intoxication and fatal road crashes in France: population based case-control study*. *BMJ*, 2005. **331**(7529): p. 1371.
38. Mura, P., et al., *Comparison of the prevalence of alcohol, cannabis and other drugs between 900 injured drivers and 900 control subjects: results of a French collaborative study*. *Forensic Sci Int*, 2003. **133**(1-2): p. 79-85.
39. Drummer, O.H., et al., *The involvement of drugs in drivers of motor vehicles killed in Australian road traffic crashes*. *Accid Anal Prev*, 2004. **36**(2): p. 239-48.
40. Vollrath, M. and H.P. Krüger, *The Effects of Alcohol, Benzodiazepines and Illegal Drugs on Traffic Safety – an Overview*. *Suchtmed*, 2002. **4**(3): p. 175-183.
41. EMCDDA, *Cannabis und Führen eines Kraftfahrzeugs*. 2018, Europäische Beobachtungsstelle für Drogen und Drogensucht.
42. Berghaus, G. and H.P. Krüger, *Cannabis im Strassenverkehr*. 1998.
43. Müller, C.P., et al., *Cannabis und Verkehrssicherheit: Mangelnde Fahreignung nach Cannabiskonsum: Leistungsdefizite, psychologische Indikatoren und analytischer Nachweis*, M.u. Sicherheit, Editor. 2006, Bundesanstalt für Strassenwesen. p. 1-196.
44. Grotenhermen, F., *Cannabis, Straßenverkehr und Arbeitswelt*. 2002, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag
45. Schulze, H., et al., *DRUID – Driving under the Influence of Drugs, Alcohol and Medicines*. Abschlussbericht: Durchgeführte Arbeiten, wichtigste Ergebnisse und Empfehlungen. 2012: Bundesanstalt für Straßenwesen Deutschland.
46. Ménétrey, A., et al., *Assessment of Driving Capability Through the Use of Clinical and Psychomotor Tests in Relation to Blood Cannabinoids Levels Following Oral Administration of 20 mg Dronabinol or of a Cannabis Decoction Made with 20 or 60 mg Δ^9 -THC**. *Journal of Analytical Toxicology*, 2005. **29**(5): p. 327-338.
47. Terhune, K.W., et al., *The incidence and role of drugs in fatally injured drivers*. National Highway Traffic Safety Administration, Washington, 1992. **DOT HS 808 065**.

48. Vollrath, M., et al., *Fahrten unter Drogeneinfluss - Einflussfaktoren und Gefährdungspotenzial*. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Mensch und Sicherheit, 2001. **Heft M 32**.
49. Robbe, H.W.J., *Marijuana use and driving*. Journal of the International Hemp Association (IHA), 1994 **1**(2): p. 44-48.
50. Downey, L.A., et al., *The effects of cannabis and alcohol on simulated driving: Influences of dose and experience*. *Accid Anal Prev*, 2013. **50**: p. 879-86.
51. Papafotiou, K., J.D. Carter, and C. Stough, *The relationship between performance on the standardised field sobriety tests, driving performance and the level of Delta9-tetrahydrocannabinol (THC) in blood*. *Forensic Sci Int*, 2005. **155**(2-3): p. 172-8.
52. Moskowitz, H., *Marihuana and driving*. *Accid Anal Prev*, 1985. **17**(4): p. 323-45.
53. Cocchetto, D.M., et al., *Relationship between plasma delta-9-tetrahydrocannabinol concentration and pharmacologic effects in man*. *Psychopharmacology (Berl)*, 1981. **75**(2): p. 158-64.
54. Miller, L.L., D.M. Cocchetto, and M. Perez-Reyes, *Relationships between several pharmacokinetic parameters and psychometric indices of subjective effects of delta 9-tetrahydrocannabinol in man*. *Eur J Clin Pharmacol*, 1983. **25**(5): p. 633-7.
55. Schmidt, P., N. Scheer, and G. Berghaus, *Cannabiskonsum und Fahrtauglichkeit*, ed. *Kriminalistik*. Vol. 49/4. 1995.
56. Lukas, S.E., et al., *Marihuana smoking increases plasma cocaine levels and subjective reports of euphoria in male volunteers*. *Pharmacol Biochem Behav*, 1994. **48**(3): p. 715-21.
57. McBurney, L.J., B.A. Bobbie, and L.A. Sepp, *GC/MS and EMIT analyses for delta 9-tetrahydrocannabinol metabolites in plasma and urine of human subjects*. *J Anal Toxicol*, 1986. **10**(2): p. 56-64.
58. Ohlsson, A., et al., *Plasma delta-9 tetrahydrocannabinol concentrations and clinical effects after oral and intravenous administration and smoking*. *Clin Pharmacol Ther*, 1980. **28**(3): p. 409-16.
59. Huestis, M.A., J.E. Henningfield, and E.J. Cone, *Blood cannabinoids. I. Absorption of THC and formation of 11-OH-THC and THCCOOH during and after smoking marijuana*. *J Anal Toxicol*, 1992. **16**(5): p. 276-82.
60. Perez-Reyes, M., et al., *Interaction between marihuana and ethanol: effects on psychomotor performance*. *Alcohol Clin Exp Res*, 1988. **12**(2): p. 268-76.
61. Lukas, S.E. and S. Orozco, *Ethanol increases plasma Delta(9)-tetrahydrocannabinol (THC) levels and subjective effects after marihuana smoking in human volunteers*. *Drug Alcohol Depend*, 2001. **64**(2): p. 143-9.
62. Hartman, R.L., et al., *Cannabis effects on driving lateral control with and without alcohol*. *Drug Alcohol Depend*, 2015. **154**: p. 25-37.
63. Ramaekers, J.G., et al., *Cognition and motor control as a function of Delta9-THC concentration in serum and oral fluid: limits of impairment*. *Drug Alcohol Depend*, 2006. **85**(2): p. 114-22.
64. Möller, M.R., *Drogen im Straßenverkehr – neue Entwicklungen*. 44. *Deutscher Verkehrsgerichtstag*. 2006. Glosar, 25–27.
65. Schnabel, E., *Cannabis und Fahrsicherheit – Zum aktuellen Stand der Forschung*. 2005: Nürnberg. p. 4-6.
66. Curran, V.H., et al., *Cognitive and subjective dose-response effects of acute oral Δ9-tetrahydrocannabinol (THC) in infrequent cannabis users*. *J Psychopharmacology*, 2002. **164**(1): p. 61-70.
67. Grotenhermen, F., et al., *Developing Science-Based Per Se Limits for Driving under the Influence of Cannabis (DUI/C)*. Findings and Recommendations by an Expert Panel. 2005.
68. Newmeyer, M.N., et al., *Evaluation of divided attention psychophysical task performance and effects on pupil sizes following smoked, vaporized and oral cannabis administration*. 2017. **37**(8): p. 922-932.
69. Marks, D.F. and M.G. MacAvoy, *Divided attention performance in cannabis users and non-users following alcohol and cannabis separately and in combination*. *Psychopharmacology (Berl)*, 1989. **99**(3): p. 397-401.

70. Wright, A. and P. Terry, *Modulation of the effects of alcohol on driving-related psychomotor skills by chronic exposure to cannabis*. Psychopharmacology (Berl), 2002. **160**(2): p. 213-9.
71. Toennes, S.W., et al., *Comparison of Cannabinoid Pharmacokinetic Properties in Occasional and Heavy Users Smoking a Marijuana or Placebo Joint*. Journal of analytical toxicology, 2008. **32**: p. 470-7.
72. Dubois, S., et al., *The combined effects of alcohol and cannabis on driving: Impact on crash risk*. Forensic Sci Int, 2015. **248**: p. 94-100.
73. Ramaekers, J.G., et al., *Dose related risk of motor vehicle crashes after cannabis use*. Drug Alcohol Depend, 2004. **73**(2): p. 109-19.
74. Kelly, E., S. Darke, and J. Ross, *A review of drug use and driving: epidemiology, impairment, risk factors and risk perceptions*. Drug Alcohol Rev, 2004. **23**(3): p. 319-44.
75. Sewell, R.A., J. Poling, and M. Sofuoglu, *The effect of cannabis compared with alcohol on driving*. Am J Addict, 2009. **18**(3): p. 185-93.
76. Bramness, J.G., H.Z. Khiabani, and J. Morland, *Impairment due to cannabis and ethanol: clinical signs and additive effects*. Addiction, 2010. **105**(6): p. 1080-7.
77. Chait, L.D. and J.L. Perry, *Acute and residual effects of alcohol and marijuana, alone and in combination, on mood and performance*. Psychopharmacology (Berl), 1994. **115**(3): p. 340-9.
78. Lamers, C.T. and J.G. Ramaekers, *Visual search and urban driving under the influence of marijuana and alcohol*. Hum Psychopharmacol, 2001. **16**(5): p. 393-401.
79. Liguori, A., C.P. Gatto, and D.B. Jarrett, *Separate and combined effects of marijuana and alcohol on mood, equilibrium and simulated driving*. Psychopharmacology (Berl), 2002. **163**(3-4): p. 399-405.
80. Senna, M.C., et al., *First nationwide study on driving under the influence of drugs in Switzerland*. Forensic Sci Int, 2010. **198**(1-3): p. 11-6.
81. Rentsch, O., V. Weirich, and R. Wegener, *Zum Drogenkonsum von verunfallten Jugendlichen in Westmecklenburg 1998/1999*. Blutalkohol. Vol. 37. 2000: Bund gegen Alkohol im Strassenverkehr eV.
82. Möller, M.R., M. Hartung, and J. Wilske, *Prävalenz von Drogen und Medikamenten bei verkehrsauffälligen Kraftfahrern*. Blutalkohol. Vol. 36. 1999.
83. Berning, A., R. Compton, and K. Wochinger, *Results of the 2013-2014, National Roadside Survey of alcohol and drug use by drivers*, Traffic Safety Facts Research Note. 2015, Washington DC: NHTSA.
84. Cavegn, M., et al., *Beeinträchtigte Fahrfähigkeit von Motorfahrzeuglenkenden: Risikobeurteilung, Unfallanalyse und Präventionsmöglichkeiten*. Sicherheitsdossier Nr. 4. 2008, Bern: bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung.
85. Grotenhermen, F., *Developing Science-Based Per Se Limits for Driving under the Influence of Cannabis (DUI/C). Findings and Recommendations by an Expert Panel*. 2005.
86. Gerberich, S.G., et al., *Marijuana use and injury events resulting in hospitalization*. Ann Epidemiol, 2003. **13**(4): p. 230-7.
87. Fergusson, D.M. and L.J. Horwood, *Cannabis use and traffic accidents in a birth cohort of young adults*. Accid Anal Prev, 2001. **33**(6): p. 703-11.
88. Mathijssen, M.P., et al., *Use of psychoactive medicines and drugs as a cause of road trauma*. Proceedings of the 16th International Conference on Alcohol, Drugs and Traffic Safety, 2002. **T2002**: p. 451-458.
89. Movig, K.L., et al., *Psychoactive substance use and the risk of motor vehicle accidents*. Accid Anal Prev, 2004. **36**(4): p. 631-6.
90. Dussault, C., et al., *The contribution of alcohol and other drugs among fatally injured drivers in Quebec: some preliminary results*. Proceedings of the 16th International Conference on Alcohol, Drugs and Traffic Safety, 2002. **T2002**: p. 423-430.
91. Kuypers, K.P., et al., *A case-control study estimating accident risk for alcohol, medicines and illegal drugs*. PLoS One, 2012. **7**(8): p. e43496.
92. Longo, M.C., et al., *The prevalence of alcohol, cannabinoids, benzodiazepines and stimulants amongst injured drivers and their role in driver culpability: part ii: the relationship*

- between drug prevalence and drug concentration, and driver culpability.* *Accid Anal Prev*, 2000. **32**(5): p. 623-32.
93. Swann, P., *The real risk of being killed when driving whilst impaired by cannabis*, in *Alcohol, Drugs and Traffic Safety*, H. Laurell, Editor. 2000, Ekonomi-Print: Stockholm, Sweden.
 94. Drummer, O.H. and J. Gerostamoulos, *Cannabis and the risk of road crashes*. Beitrag zum 39. Annual TIAFT Meeting, 2001.
 95. Hartman, R.L. and M.A. Huestis, *Cannabis effects on driving skills*. *Clin Chem*, 2013. **59**(3): p. 478-92.
 96. Celius, E.G. and C. Vila, *The influence of THC:CBD oromucosal spray on driving ability in patients with multiple sclerosis-related spasticity*. *Brain and behavior*, 2018. **8**(5): p. e00962-e00962.
 97. Reich, C., *Besteht zwischen der Nulltoleranz bei Cannabis (THC) im Strassenverkehr und der Fahreignung ein Zusammenhang?* *Strassenverkehr 2/2018* ed. 2018, iusNET: Schulthess Juristische Medien AG.
 98. Lowenstein, S.R. and J. Koziol-McLain, *Drugs and traffic crash responsibility: a study of injured motorists in Colorado*. *J Trauma*, 2001. **50**(2): p. 313-20.
 99. EMCDDA, *Driving Under the Influence of Drugs, Alcohol and Medicines in Europe — findings from the DRUID project*. 2012.
 100. Hartman, R.L., et al., *Cannabis effects on driving longitudinal control with and without alcohol*. *J Appl Toxicol*, 2016. **36**(11): p. 1418-29.
 101. Beirness, D.J. and A.J. Porath, *Clearing the Smoke on Cannabis, Cannabis Use and Driving - an Update*. 2017, Canadian Center on Substance Use and Addiction: Canada.
 102. Volkow, N.D., et al., *Adverse health effects of marijuana use*. *N Engl J Med*, 2014. **370**(23): p. 2219-27.