

Aus dem Institut für Rechtsmedizin
der Universität zu Köln
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. M. A. Rothschild

Pharmakokinetische Berechnungen zum Cannabis- Konsumverhalten bei Straßenverkehrsteilnehmern

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
Aleksandar Nikolic
aus Passau

promoviert am 26. April 2024

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachterin: Privatdozentin Dr. rer. nat. H. Andresen-Streichert
2. Gutachter: Universitätsprofessor Dr. med. Th. Ch. Erren

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich keine Unterstützungsleistungen erhalten.

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

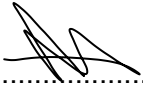
Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Messergebnisse wurden ohne meine Mitarbeit im Labor für Forensische Toxikologie des Instituts für Rechtsmedizin der Uniklinik Köln im Rahmen der Routinetätigkeit ermittelt. Die verwendeten Fallberichte wurden von mir selbst ausgewertet.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 24.01.2024

Unterschrift: 

Danksagung

An erster Stelle möchte ich allen beteiligten Personen meinen großen Dank aussprechen, die mich bei der Anfertigung meiner Doktorarbeit unterstützt haben.

Besonders danken möchte ich meiner Doktormutter Frau Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Hilke Andresen-Streichert für die Anregungen, die hervorragende Betreuung und die Geduld bei der Umsetzung der gesamten Arbeit.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Markus Rothschild für die Möglichkeit bedanken, meine Doktorarbeit am Institut der Rechtsmedizin der Uniklinik Köln durchgeführt haben zu können.

Des Weiteren muss ich allen Mitarbeitern der toxikologischen Abteilung des Instituts für Rechtsmedizin der Uniklinik Köln, besonders Frau Christina Hof, meinen Dank aussprechen, die mir einen Arbeitsplatz und die Daten zur Verfügung gestellt sowie in diversen Problemsituationen Ihre Hilfsbereitschaft gezeigt haben.

Meinen Eltern, meinem Bruder und meinen Freunden danke ich für ihre Geduld, Verständnis, Ermutigungen und Unterstützung während des Studiums für die Umsetzung dieser Doktorarbeit.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	8
1. Zusammenfassung	10
2. Einleitung	12
2.1 Allgemeines zu Cannabis	12
2.2 Applikationsarten	14
2.3 Erfahrung und aktuelle Konsumprävalenz	14
2.4 Pharmakodynamik	16
2.5 Pharmakokinetik	17
2.5.1 Absorption	17
2.5.1.1 Inhalativer Konsum	17
2.5.1.2 Oraler Konsum	18
2.5.2 Distribution	18
2.5.3 Metabolisierung	19
2.5.4 Elimination	19
2.5.5 Plasmakonzentration	20
2.5.5.1 Inhalativer Konsum	20
2.5.5.2 Oraler Konsum	21
2.5.6 Urinkonzentration	21
2.6 Wirkungen des Cannabiskonsums	23
2.6.1 Effekt auf den Konsumenten	23
2.6.2 Effekt auf das Fahrverhalten im Straßenverkehr	24
2.7 Zusammenhang von Plasmakonzentration und Wirkung	26
2.8 Rechtsprechung und Grenzwerte im Straßenverkehr	28
2.9 Fahrerlaubnis-Verordnung	33
2.10 Differenzierung zwischen gelegentlichem und chronischem Konsum	35
2.11 Auswirkungen auf die Fahrsicherheit und das Unfallrisiko	39
2.12 Modelle nach Huestis zur Abschätzung des Konsumzeitpunktes	40
2.13 Fragestellung und Ziel der Arbeit	43

3. Material und Methode	44
3.1 Literaturrecherche	44
3.2 Datenerfassung	44
3.3 Auswertung der Cannabiskonsumfälle	44
3.4 Berechnungsmodelle nach Huestis	45
4. Ergebnisse	47
4.1 Fälle mit Cannabis im Straßenverkehr	47
4.2 Demographische Daten	48
4.2.1 Alter und Geschlecht	48
4.2.2 Geographische Auswertung	51
4.3 Angaben zu den Konzentrationen der Cannabinoide	53
4.3.1 Häufigkeiten der THC- und THC-COOH-Konzentrationen	53
4.3.2 Mittel-, Medianwerte und Spanne der Cannabinoidkonzentrationen	56
4.4 Deliktarten	59
4.5 Grenzwerte	62
4.6 Konsummuster	65
4.6.1 Verteilung nach Konsummuster	65
4.6.2 Deliktarten und Konsummuster	67
4.6.3 Geschlecht und Konsummuster	69
4.7 Konsumverhalten und Grenzwerte bei Ordnungswidrigkeiten	71
4.8 Abschätzungen und Berechnungen der Konsumzeitpunkte	73
4.8.1 Eigene Angaben der Straßenverkehrsteilnehmer	73
4.8.2 Berechnungen mit den Modellen nach Huestis	75
5. Diskussion	79
5.1 Demographische Daten	79
5.1.1 Alter und Geschlecht	79
5.1.2 Geographische Auswertung	80
5.2 Angaben zu den Konzentrationen der Cannabinoide	81
5.2.1 Häufigkeiten der THC- und THC-COOH-Konzentrationen	81

5.2.2 Mittel-, Medianwerte und Spanne der Cannabinoidkonzentrationen	81
5.3 Deliktarten	82
5.4 Grenzwerte	83
5.5 Konsummuster	86
5.5.1 Verteilung nach Konsummuster	86
5.5.2 Deliktarten und Konsummuster	86
5.5.3 Geschlecht und Konsummuster	87
5.6 Konsumverhalten und Grenzwerte bei Ordnungswidrigkeiten	87
5.7 Abschätzungen und Berechnungen der Konsumzeitpunkte	88
5.7.1 Eigene Angaben der Straßenverkehrsteilnehmer	88
5.7.2 Berechnungen mit den Modellen nach Huestis	89
5.8 Limitationen	91
6. Literaturverzeichnis	93
7. Anhang	100
7.1 Abbildungsverzeichnis	100
7.2 Tabellenverzeichnis	102
8. Vorabveröffentlichungen von Ergebnissen	103

Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz
BADS	Bund gegen Alkohol und Drogen im Straßenverkehr
BAK	Blutalkoholkonzentration
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BtMG	Betäubungsmittelgesetz
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff
ca.	circa
cAMP	cyclisches Adenosinmonophosphat
CB1-Rezeptor	Cannabinoid-1-Rezeptor
CB2-Rezeptor	Cannabinoid-2-Rezeptor
CBD	Cannabidiol
CBDS	Cannabidiolsäure
CBN	Cannabinol
CBNS	Cannabinolsäure
CIF	Cannabis-Influence-Factor
CYP	Cytochrom-P450-Enzyme
DHV	Deutscher Hanfverband
DNA	Desoxyribonucleic acid
DRUID	Driving under the Influence of Drugs, Alcohol and Medicines
FeV	Fahrerlaubnis-Verordnung
g	Gramm
G-Protein	Guaninnukleotid-bindendes Protein
h	Stunden
kg	Kilogramm
L	Liter
mg	Milligramm
mL	Milliliter
MPU	Medizinisch-Psychologische Untersuchung
N	Anzahl
ng	Nanogramm
NRW	Nordrhein-Westfalen
Nr.	Nummer
OR	Odds Ratio
OWiG	Gesetz über Ordnungswidrigkeiten
RNA	Ribonucleic acid
StGB	Strafgesetzbuch
StPO	Strafprozessordnung

StVG	Straßenverkehrsgesetz
THC	Delta-9-Tetrahydrocannabinol
THC-COOH	11-nor-9-carboxy-THC/THC-Carbonsäure
THC-OH/11-OH-THC	11-Hydroxy-Tetrahydrocannabinol
THCS	Tetrahydrocannabinolsäure
TÜV	Technischer Überwachungsverein
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel

1. Zusammenfassung

Die Grenzwertkommission hat im Jahr 2007 einen empfohlenen analytischen Grenzwert von 1 ng/mL Delta-9-Tetrahydrocannabinol (THC) im Blutserum empfohlen. Bei Fahrten unter Cannabiseinfluss kann somit eine Ordnungswidrigkeit nach § 24a Abs. 2 StVG begangen werden. In Anbetracht einer möglichen Legalisierung von Cannabis in der Zukunft, der Verbreitung und der unterschiedlichen evidenzbasierten Grenzwerte im Ausland wird der gegenwärtige Grenzwert kontrovers diskutiert. Gründe sind der komplexe Zusammenhang von Pharmakokinetik und Wirkung von Cannabis und eine mögliche Benachteiligung Betroffener, besonders regelmäßiger Konsumenten, die höhere THC-Konzentrationen im Blutserum aufweisen und sich trotz dessen fahrtüchtig fühlen. Ziel dieser Diskussionen ist ein „gerechterer“ Grenzwert, um sowohl eine Entlastung von Straßenverkehrsteilnehmern, die trotz THC-Konzentrationen über 1 ng/mL im Blutserum fahrtüchtig sind, als auch die Sicherheit des Straßenverkehrs zu gewährleisten. Neben der Verwendung des aktuell empfohlenen Grenzwertes für gerichtliche Zwecke werden für forensische Fragestellungen auch pharmakokinetische Berechnungsmodelle von Huestis et al. verwendet, um den Konsumzeitpunkt der Straßenverkehrsteilnehmer abzuschätzen und eine mögliche Korrelation von Cannabiswirkung und Straftat bzw. Ordnungswidrigkeit zu belegen. In dieser Dissertation soll mithilfe eines Datensatzes von positiven Cannabisfällen im Straßenverkehr geprüft werden, welchen Einfluss eine Anhebung des Grenzwertes auf eine mögliche Entlastung von Personen, besonders bei chronischen Konsumenten, und die Sicherheit des Straßenverkehrs hätte. Insbesondere soll untersucht werden, ob eine hypothetische Anhebung des Grenzwertes zu einer Reduktion der Ordnungswidrigkeiten bei chronischen Konsumenten führen würde. Zudem werden soziodemographische Ergebnisse zu den Personen gewonnen. Schließlich sollen im Untersuchungsgut die angegebenen Konsumzeitpunkte der Straßenverkehrsteilnehmer analysiert und die Modelle von Huestis für die Berechnungen der Zeitangaben herangezogen werden. Diese Ergebnisse werden mit anderen Studien verglichen und dienen zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der Modelle.

Für die Jahre 2019 und 2020 werden positive Cannabisfälle im Straßenverkehr aus dem Untersuchungsgut des Instituts für Rechtsmedizin der Uniklinik Köln herangezogen und ausgewertet. Für die Analyse einer Anhebung des Grenzwertes werden Fälle einbezogen, bei denen eine Ordnungswidrigkeit begangen wurde und bei denen die Personen nach ihrem Konsummuster differenziert wurden. Hierzu werden die Fälle mithilfe eines Schwellenwertes von 150 ng/mL THC-COOH im Blutserum nach Daldrup in die Gruppen „gelegentliche“ und „regelmäßige“ Konsumenten eingeteilt.

Die Auswertung des Datensatzes der Jahre 2019 und 2020 zeigt, dass eine Anhebung des Grenzwertes nur einen geringfügigen Effekt auf die Entlastung von regelmäßigen Konsumenten hätte. Bei Anhebung des Grenzwertes auf 3,0 bzw. 10 ng/mL THC im Blutserum würden im Jahr 2019 2,6 % bzw. 36,3 % und im Jahr 2020 1 % bzw. 24,9 % der chronischen Konsumenten nicht sanktioniert.

Hingegen könnten im Jahr 2019 54,6 % bzw. 90,1 % und im Jahr 2020 52,1 % bzw. 87,1 % der gelegentlichen Konsumenten ohne Sanktion am Straßenverkehr teilnehmen, was potenziell die Straßenverkehrssicherheit gefährden könnte. Eine Anhebung des Grenzwertes könnte daher eher zu einer Entlastung von gelegentlichen Konsumenten führen, bei denen selbst bei niedrigen THC-Konzentrationen Leistungsdefizite und eine deutliche Beeinträchtigung der Fahrsicherheit erwartet werden können.

Für die soziodemographische Auswertung werden die Cannabis-positiven Fälle für das Jahr 2019 und 2020 nach Alter und Geschlecht eingeteilt. Hier kann in beiden Jahren eine klare Dominanz von Männern und jungen Erwachsenen in einem Alter zwischen 20 und 30 Jahren gezeigt werden. Im Jahr 2019 waren 93,5 % bzw. im Jahr 2020 93,9 % der Cannabis-positiven Straßenverkehrsteilnehmer männlich. Innerhalb der Altersgruppen zeigt sich ein Maximum bei den 20- bis 30-Jährigen mit 44,2 % im Jahr 2019 bzw. 37,1 % im Jahr 2020. Damit kann bestätigt werden, dass weiterhin mehr Männer aufgrund einer höheren Risikobereitschaft oder einer falschen drogeninduzierten Selbstwahrnehmung eher zu Drogen greifen und am Straßenverkehr teilnehmen. Diese Daten spiegeln außerdem wider, dass die Konsumprävalenz in jungen Jahren stark erhöht ist und mit dem Alter stetig abnimmt.

Zur Berechnung der Konsumzeitpunkte der Straßenverkehrsteilnehmer werden die vorgestellten „Huestis-Formeln“ verwendet und zur Überprüfung der Zuverlässigkeit mit den von Straßenverkehrsteilnehmer angegebenen Konsumzeitpunkten verglichen. Bei Anwendung der Modelle zeigt sich im Untersuchungsgut für beide Jahre eine Ungenauigkeit innerhalb einer Zeitspanne von einer Stunde. Bei der Überprüfungen der Modelle anhand ihrer Zuverlässigkeit zeigen die Resultate, dass die Modelle nur innerhalb eines Zeitraumes von bis zu acht Stunden zuverlässige Ergebnisse vorweisen können. Auch sinkt in unseren Ergebnissen die Zuverlässigkeit nach acht Stunden ab, sodass nur noch die Hälfte der angegebenen Konsumzeitpunkte richtig eingeschätzt werden kann. Allerdings kann bei der Kombination der Modelle eine hohe Zuverlässigkeit festgestellt werden, sodass die kombinierte Berechnung zu empfehlen ist. Zu beachten ist aber, dass keine exakten Informationen über Konsumzeitpunkt, -menge, -frequenz, -muster oder Mischkonsum der Personen bekannt sind. Somit können Falschangaben möglich sein, die die Ergebnisse der Modelle verzerren können. Damit die Modelle in Zukunft für gerichtliche Zwecke noch verlässlichere Aussagen ermöglichen, wären weitere Überprüfungen und Verbesserungen der Modelle erforderlich.

2. Einleitung

2.1 Allgemeines zu Cannabis

Zu den bekanntesten Arten der Cannabispflanzen gehören die *Cannabis sativa*, *Cannabis indica* und *Cannabis ruderalis*. Zusammen mit der Gattung *Humulus*, den Hopfengewächsen, gehört es der Familie der Cannabaceae, den Hanfgewächsen, an [33]. Die Gattung Hanf wird taxonomisch in Drogenhanf und Faserhanf unterteilt, in dem das THC das Leitcannabinoid für Drogenhanf und das Cannabidiol (CBD) das Leitcannabinoid für Faserhanf darstellt. Seit dem Jahr 1996 können Lebensmittel, die aus Faserhanf hergestellt werden, mit THC-Höchstwerten von maximal 0,2 % auf dem Markt gehandelt werden, nachdem das Anbauverbot für Landwirte aufgehoben wurde. Der Anbau und Handel von Drogenhanf bleibt bis zum aktuellen Zeitpunkt verboten [65]. Des Weiteren wird noch zwischen der weiblichen und männlichen Form der Pflanze unterschieden. Dabei enthält nur die weibliche Form ausreichend THC, um eine psychotrope Wirkung hervorzurufen [27,33]. Basierend auf dem aktuellen Forschungsstand enthält die Cannabispflanze über 500 chemische Produkte. Davon sind knapp 100 Cannabinoide, von denen das THC den stärksten Einfluss auf die psychotrope Wirkung hat [30,41]. Bei inhalativem Konsum können bis zu 2000 chemische Produkte durch Pyrolyse entstehen [42].

Das CBD, das Cannabinol (CBN), die Tetrahydrocannabinolsäure (THCS), die Cannabinolsäure (CBNS) und die Cannabidiolsäure (CBDS) bilden biosynthetische Vorstufen oder Folgeprodukte des THC. Während der Blütezeit dominieren das CBDS und das THCS. Je nach Standort und Klima ändert sich stufenweise die chemische Zusammensetzung der Cannabispflanze. Die Umwandlung in die Hauptcannabinoide CBD, CBN und THC erfolgt durch Wärme und UV-Strahlung. Im Gegensatz zu THC hat CBD keine psychoaktiven Wirkungen, sondern zeigt entzündungshemmende, angstlösende, entkrampfende und beruhigende Effekte [41,73,108]. Chemisch gesehen sind Cannabinoide phenolische Monoterpene, die lipophil und stickstofffrei sind. Die chemische Struktur des THC wurde 1964 aufgeklärt. Das THC hat eine trizyklische 21-Carbon-Struktur und ist ein volatiles und zähflüssiges Öl mit einer stark lipophilen Eigenschaft [33,108]. Die chemischen Strukturen der wichtigsten Cannabinoide werden in der Abbildung 1 dargestellt [49].

Der Gehalt der Cannabinoide im Cannabisprodukt hängt stark vom Alter des Produkts und vom Herstellungsort ab. Cannabis wird in Form von Marihuana (aus den getrockneten Blüten und Blättern), Haschisch (aus dem Harz der Blütenstände) und Haschischölen zubereitet und konsumiert. Die Potenz des Drogenprodukts hängt allein von der Konzentration des THC ab, die in Prozent (%) THC pro Materialgewicht angegeben wird [27,41,42].

Die THC-Konzentration variiert je nach Produzent und Herstellungsort. Typischerweise liegt der THC-Gehalt von Marihuana zwischen 1 und 14 %, während Haschisch einen THC-Gehalt zwischen 4 und 12 % aufweist [27]. Andere Quellen geben einen Bereich von 0,5-15 % bei Marihuana an, mit Maximalwerten von 30 % bei Haschisch und 80 % bei Haschischölen. Die Vielfalt der Angaben spiegelt die Unterschiede in Produktions- und Herstellungsverfahren wider [33,42]. In den letzten Jahrzehnten ist der THC-Gehalt dabei stetig angestiegen [27,42].

Während im Jahr 1980 der mittlere THC-Gehalt im konfiszierten Marihuana knapp 1,5 % betrug, wurde in den folgenden Jahrzehnten ein mittlerer THC-Gehalt von 4,1 % mit einem Maximum von 29,9 % im Marihuana und 52,9 % im Haschisch festgestellt [27,42]. Dieser Trend setzte sich in den letzten Jahren in Europa fort und im Jahr 2016 betrug der mittlere THC-Gehalt im Haschisch 17,22 % und im Marihuana 10,22 % [26].

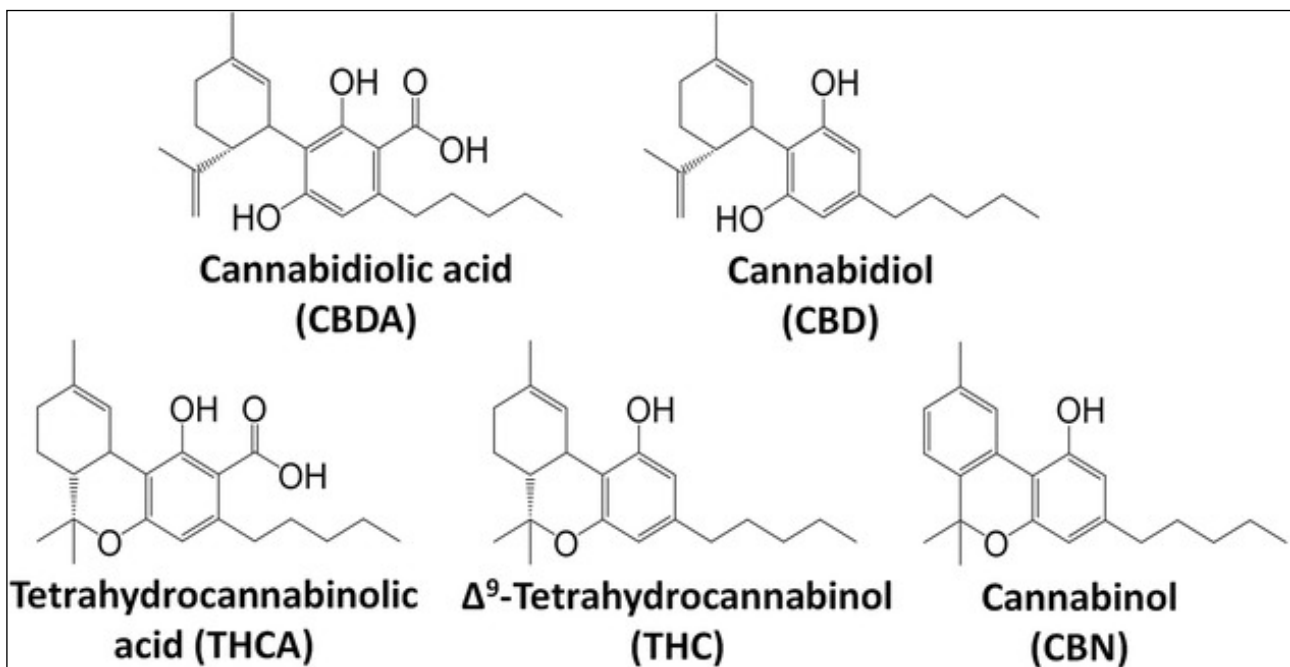


Abbildung 1: Chemische Struktur der Hauptcannabinoide mit englischer Bezeichnung.

Quelle: Hung C et al., 2015

2.2 Applikationsarten

Cannabis entfaltet seine psychoaktive Wirkung durch verschiedene Applikationswege. Eine entscheidende Voraussetzung dafür ist die Decarboxylierung der natürlichen Cannabinoide und die Umwandlung der Vorstufen von THC in die wirksame phenolische Form. Dieser Prozess erfolgt üblicherweise durch Erhitzen. Die am häufigsten angewendete Konsummethode ist daher die inhalative Aufnahme mittels sogenannter „Joints“. Hierbei wird Marihuana oder Haschisch zerkleinert, entweder pur oder mit Tabak vermischt, und zu einer Cannabiszigarette gedreht. Alternativ dazu bietet sich die Inhalation mittels einer Wasserpfeife, einer sogenannten Bong, an, um einen höheren Peak der THC-Konzentration zu erreichen. Selten werden Verdampfer für den Konsum eingesetzt [27]. Aufgrund der schädlichen Verbrennungsprodukte bei inhalativer Aufnahme wird im therapeutischen Bereich bevorzugt auf die orale Aufnahme durch Tee oder den Gebrauch von Verdampfern zurückgegriffen [29,57]. Neben der inhalativen Aufnahme kann Cannabis auch oral, rektal, sublingual oder intravenös eingenommen werden. Bei der oralen Applikation wird Cannabis entweder in Form von gebackenen Keksen bzw. „Brownies“ konsumiert oder in Getränken wie Tee, angereichert mit Fetten, aufgekocht [27]. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den verschiedenen Applikationswegen besteht in den abweichenden Zeitpunkten des Wirkeintritts, der gesamten Wirkdauer und den Konzentrationen der Metabolite im Blutplasma. Während die Wirkung beim Rauchen bereits nach wenigen Minuten einsetzt und für einige Stunden anhält, dauert es bei der oralen Aufnahme bis zu zwei Stunden, bis eine schlagartige Wirkung wahrgenommen wird, die auch mehrere Stunden andauern kann [30]. Im Vergleich zur inhalativen oder intravenösen Aufnahme weist die Plasmakonzentration von THC bei oraler Aufnahme einen flacheren Verlauf mit kleineren Peaks auf [32].

2.3 Erfahrung und aktuelle Konsumprävalenz

In der westlichen Welt hat sich Cannabis seit vielen Jahren als die am weitesten verbreitete illegale Droge etabliert [27]. Laut dem Weltrogenbericht von 2019 konsumierten im Jahr 2018 etwa 4,3 % der erwachsenen Bevölkerung weltweit, was rund 192,2 Millionen Menschen entspricht, Cannabis [77]. Eine Untersuchung der WHO und der UN aus dem Jahr 2015 ergab, dass mehr als 232 Millionen Menschen weltweit, ein relativer Anteil von 2,7 bis 4,9 % an der Weltbevölkerung, bereits Erfahrungen mit Cannabis gemacht haben [2]. Regional gesehen ist der Cannabiskonsum in den USA, Kanada und Australien weiter verbreitet als in den europäischen Ländern [61].

Ein im Jahr 2005 durchgeführtes Suchsurvey ergab, dass in Deutschland etwa 18,3 % der Frauen und 30,5 % der Männer im Alter zwischen 18 und 59 Jahren Erfahrungen mit Cannabis gemacht hatten. Die Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA) stellte im Jahr 2004 fest, dass 35 % der männlichen und 27 % der weiblichen Jugendlichen und jungen Erwachsenen im Alter zwischen 12 und 25 Jahren bereits Cannabis konsumiert hatten, was einer Lebenszeitprävalenz von insgesamt 31 % entsprach [14].

In der Altersgruppe von 18 bis 29 Jahren hatte fast die Hälfte der Männer und etwa ein Drittel der Frauen mindestens einmal Cannabis konsumiert. Besonders deutlich ist der Anstieg des Cannabiskonsums bei Jugendlichen zwischen 12 und 17 Jahren. Die Erfahrung mit Cannabis beträgt bei männlichen und weiblichen 12- bis 14-Jährigen rund 4,5 % bzw. 3,0 %. Bei den 15- bis 17-Jährigen steigt die Wahrscheinlichkeit eines Cannabiskonsums bei männlichen Jugendlichen deutlich auf 31,1 % und bei weiblichen Jugendlichen auf 20,4 % [104]. Laut einem aktuellen Drogen- und Suchtbericht des Bundesministeriums für Gesundheit aus dem Jahr 2019 haben 10,0 % der Jugendlichen im Alter von 12-17 Jahren, 42,5 % der jungen Erwachsenen im Alter von 18-25 Jahren und 28,2 % der Erwachsenen im Alter von 18-64 Jahren bereits Erfahrungen mit Cannabis gemacht [22,61,109]. Ein wichtiger Indikator für den aktuellen Konsum ist die 12-Monats-Prävalenz. Tossmann zeigte im Jahr 2006 mit Studien von BZgA und Kraus et al. (2005), dass der aktuelle Konsum mit steigendem Lebensalter ansteigt, jedoch ab dem 23. Lebensalter wieder stetig abnimmt. Der Cannabiskonsum innerhalb der Altersgruppen wird in der Abbildung 2 dargestellt. Eine Drogenaffinitätsstudie der BZgA aus dem Jahr 2004 zeigt, dass etwa jeder achte Jugendliche im Alter zwischen 12 und 25 Jahren in den letzten 12 Monaten Cannabis konsumiert hat. Hinsichtlich der Frequenz des Cannabiskonsums wurde deutlich, dass die meisten aktuellen Konsumenten eher einen gelegentlichen Konsum betreiben, während knapp jeder Vierte einen fast täglichen Konsum angibt. Während 26,3 % der Konsumenten Cannabis nur an einem Tag im Monat zu sich genommen haben, geben 31,1 % der Personen an, dies an 2 bis 5 Tagen gemacht zu haben. 22,9 % haben dagegen an mindestens 20 Tagen Cannabis konsumiert. Eine Gemeinsamkeit aller genannten Studien ist, dass Männer in Bezug auf Frequenz, Erfahrung und aktuelles Konsummuster im Vergleich zu Frauen häufiger vertreten sind [14,60,104]. Es wird vermutet, dass der stetige Anstieg des weltweiten Cannabiskonsums in Verbindung mit verstärkten Kontrollen durch Polizeibeamte in den letzten Jahren zu einer Zunahme der polizeilichen Erkennung von Straßenverkehrsteilnehmern führen könnte, die unter akutem Cannabiseinfluss stehen. Ein Review von Ramaeckers et al. (2004) ergab, dass bei „road-side surveys“ in zahlreichen Ländern etwa 4 bis 14 % der Fahrer im Blut auf Cannabis positiv getestet wurden [91]. Bei einer Zufallsstichprobe von insgesamt 2.017 deutschen Straßenverkehrsteilnehmern wurden im Jahr 1996 bei rund 0,57 % der Straßenverkehrsteilnehmer Cannabinoide im Speichel nachgewiesen, wobei die Entscheidungsgrenze im Speichel bei 20 ng THC-COOH-Äquivalenten/mL lag [78].

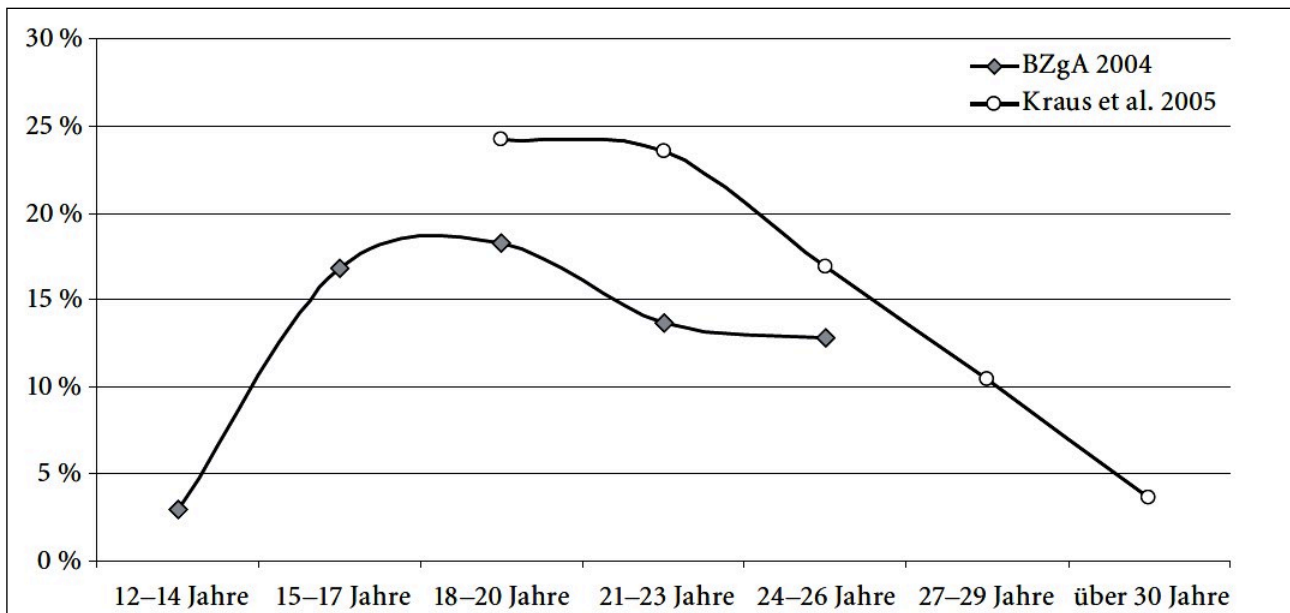


Abbildung 2: 12-Monats-Prävalenz des Cannabiskonsums innerhalb der Altersgruppen.

Quelle: Tossmann P, 2006

2.4 Pharmakodynamik

Vor der Entdeckung des endocannabinoiden Systems Ende der 80er bzw. Anfang der 90er Jahre gab es erste Hypothesen bezüglich des Wirkmechanismus von THC. Es wurde vermutet, dass dieser entweder durch nichtspezifische Interaktionen mit Zell- und Organellenmembranen oder durch spezifische Cannabisrezeptoren vermittelt wird. THC zeigt aber auch Einflüsse auf zahlreiche andere Systeme, darunter Opioid- und Benzodiazepinrezeptoren, die Prostaglandinsynthese, DNA, RNA und den Proteinmetabolismus [42]. Durch die Entdeckung der Cannabinoidrezeptoren und der endogenen Cannabinoide, den Anandamiden, konnte ein besseres Verständnis der Pharmakodynamik und des Wirkmechanismus ermöglicht werden. Es gibt zwei Typen von Cannabinoidrezeptoren, auf die endogene und exogene Cannabinoide wirken [32,41]. Der Typ 1 Rezeptor (CB1), dessen Struktur 1990 aufgeklärt wurde, ist in großer Dichte an den Präsynapsen des Cortex, der Basalganglien, des Cerebellums und im Hippocampus vorhanden. Das erklärt die möglichen Auswirkungen von psychoaktiven Cannabinoiden auf motorische Kontrolle, Wahrnehmung und Gedächtnisleistung. Im Hirnstamm und Hypothalamus sind nur wenige Rezeptoren vorzufinden. Da in diesen Arealen wichtige kardiovaskuläre und respiratorische Funktionen ablaufen, erklärt das die geringere Toxizität und Letalität von Cannabis im Vergleich zu anderen Drogen [32,33,97]. Bildgebungen konnten zeigen, dass THC frontale und paralimbische Areale im zentralen Nervensystem sowie das Cerebellum aktiviert [34]. CB-Rezeptoren wurden auch in Fettzellen, der Leber, Endothelzellen und im Gastrointestinaltrakt nachgewiesen [100]. Der Typ 2 Rezeptor (CB2) ist vor allem in peripheren Strukturen und im Immunsystem vorhanden [33].

Die chemische Struktur wurde zwei Jahre nach der Entdeckung des CB1-Rezeptors im Jahr 1992 beschrieben [33]. Eine große Anzahl von CB2-Rezeptoren findet sich z.B. in Milz, Thymus, Tonsillen und auf Leukozyten wie Mastzellen, Monozyten und B-Zellen [32,42]. Der CB2-Rezeptor vermittelt hauptsächlich immumodulatorische Effekte im Organismus [37]. Zwischen den Aminosäuresequenzen beider CB-Rezeptoren besteht eine geringe Homologie von etwa 44 % [42]. Das THC bindet als partieller Agonist an beide Rezeptoren, die jeweils G-Protein gekoppelt sind. Bei Aktivierung des G-Proteins wird die Adenylatcyclase inhibiert. Dadurch vermindert sich die Konzentration von cAMP in der Zelle, einem wichtigen Mediator im Signaltransduktionsweg [81]. Außerdem aktiviert THC Opioidrezeptoren und hat Einfluss auf Ionenkanäle. Kaliumkanäle werden stimuliert, während spannungsabhängige Kalziumkanäle blockiert werden. Beide Aktivitäten führen zu einer Inhibition der Neurotransmitterfreisetzung hemmender Neuronen, was die Ausschüttung von Dopamin und Noradrenalin fördert [3]. Der CB1-Rezeptor wird auch dem retrograden Signalsystem zugeordnet. Bei Aktivierung der CB1-Rezeptoren im zentralen Nervensystem kommt es zu einer Hemmung von Neurotransmittersystemen wie Glutamat, Acetylcholin, Serotonin und GABA [41,78,97,100]. Obwohl THC mit ähnlicher Affinität an beide Cannabinoidrezeptoren bindet, hat es einen stärkeren Effekt auf den CB1-Rezeptor [32]. Eine pharmakodynamische Toleranz bildet sich vor allem bei chronisch konsumierenden Personen. Dabei kommt es bei Tagesdosen von 10-120 mg THC nach wenigen Tagen zu einer Downregulation der CB1-Rezeptoren. Nach kurzer Abstinenz von bereits 2 Tagen geht diese Toleranz wieder verloren und bewirkt anschließend eine Hochregulierung der CB1-Rezeptoren [98].

2.5 Pharmakokinetik

2.5.1 Absorption

2.5.1.1 Inhalativer Konsum

Bei inhalativer Aufnahme von Cannabis in Form eines „Joints“ werden etwa 30 % des THCs durch Pyrolyse zerstört [42]. Ein sehr geringer Anteil des THCs verbleibt entweder im „Joint“ oder geht durch unzureichende Resorption in der Lunge beim Ausatmen verloren [32]. Das Rauchen ist aufgrund der Effizienz der schnellen Resorption und Anflutung des THCs vom Lungengewebe ins Gehirn eine beliebte Applikationsform. Im Vergleich zur intravenösen Aufnahme führt das Rauchen jedoch zu einer geringeren maximalen THC-Konzentration. Die Bioverfügbarkeit beim Rauchen variiert je nach Dosismenge, interspezifischen und intraspezifischen Faktoren und liegt zwischen 18 und 50 % [42]. Weitere Einflussfaktoren auf die Resorption und die THC-Konzentration sind die Anzahl, Dauer und Abstand der Züge beim Rauchen, die Haltedauer des Rauches in der Lunge und das Inhalationsvolumen [32]. Andere Studien geben für die Bioverfügbarkeit ein Spektrum von 2 bis 56 % bzw. 10 bis 30 % an [48,72]. Bereits Sekunden nach dem ersten Zug kann THC im Plasma nachgewiesen werden [42].

Einer Studie von Huestis zufolge wurden nach inhalativem Konsum eines schwachen „Joints“ mit 1,75 % THC oder eines starken „Joints“ mit 3,5 % THC durchschnittliche THC-Konzentrationen von $7,0 \pm 8,1$ ng/mL bzw. $18,1 \pm 12,0$ ng/mL erreicht. Die durchschnittliche maximale Konzentration betrug 84,3 ng/mL bzw. 162,2 ng/mL. Abbildung 3 zeigt die zeitliche Korrelation der durchschnittlichen Plasmakonzentrationen von THC, 11-OH-THC und THC-COOH nach dem Konsum eines „Joints“ mit 1,5 % bzw. 3,5 % THC. Der Peak wurde dabei etwa neun Minuten nach dem letzten Zug erreicht. Ca. 30 Minuten nach dem letzten Zug eines „Joints“ mit 1,75 % THC sank die THC-Konzentration auf 20 % des Peaks, während es bei einem „Joint“ mit 3,5 % THC etwa 50 Minuten dauerte, bis die THC-Konzentration auf 20 % des Peaks gesunken war [42].

2.5.1.2 Oraler Konsum

Für therapeutische Zwecke und zur Vermeidung schädlicher Wirkungen des Rauchens wird Cannabis auch häufig oral eingenommen [29,57]. Ein bedeutender Unterschied zur inhalativen Aufnahme liegt in der verlangsamten Absorption, die der Verdauung im Gastrointestinaltrakt und dem First-Pass-Effekt in der Leber geschuldet ist. Die maximale THC-Konzentration ist im Vergleich zum Rauchen niedriger und die Bioverfügbarkeit liegt zwischen 4 und 20 % [48]. Die maximale Konzentration wird erst nach 60 bis 120 Minuten erreicht [32]. Während der Metabolisierung in der Leber entstehen weitere psychoaktive und inaktive Metabolite, darunter das THC-OH, das bei oraler Aufnahme im Vergleich zum inhalativen Konsum in höherer Konzentration vorhanden ist. Da das THC-OH mindestens äquipotent zum THC ist, können trotz verzögerter Resorption und geringerer THC-Konzentration oft stärkere pharmakodynamische Effekte auftreten als beim Rauchen [42].

2.5.2 Distribution

Nach dem Konsum sinkt die THC-Konzentration aufgrund der Verteilung und der Metabolisierung rapide ab. Insbesondere gut durchblutete Organe wie Herz, Lunge, Gehirn und Leber nehmen große Mengen THC auf. Aufgrund der Lipophilie des THCs wird es auch durch Retention im Fettgewebe resorbiert. Langfristig beträgt das Konzentrationsverhältnis von THC zwischen Fettgewebe und Plasma 10:1 [80]. Dies erklärt die anhaltend hohe Halbwertszeit von THC bei chronischen Rauchern, da mit der Zeit das im Fettgewebe gespeicherte THC freigesetzt wird [42]. Das THC verteilt sich zu 90 % im Plasma und ist zu 10 % an die roten Blutkörperchen gebunden. Das Blut/Plasma-Verteilungsverhältnis liegt für THC bei 0,39, für THC-OH bei 0,56 und für THC-COOH bei 0,37 [33]. Im Plasma bindet das THC zu 97-99 % an Plasmaproteine, insbesondere an Lipoproteine, und weist ein hohes Verteilungsvolumen von bis zu 10 L/kg auf [32]. Studien von Perez-Reyes et al. und Huestis et al. haben gezeigt, dass das THC-OH schneller pharmakodynamische Effekte verursacht und schneller in Organe und Gewebe diffundiert als das Hauptprodukt THC. Eine mögliche Erklärung ist einerseits die chemische Eigenschaft der Hydroxylgruppe, die zu einer verbesserten Diffusion durch die Blut-Hirn-Schranke führen kann, und andererseits die im Vergleich zum THC geringere Bindung an Plasmaproteine [48,86].

2.5.3 Metabolisierung

Die Verstoffwechslung von THC erfolgt vorwiegend in der Leber. Das Enzym Cytochrom P450 (CYP) 2C9 hydroxyliert THC am C9-Atom und bildet seinen äquipotenten Metaboliten THC-OH. Zusätzlich sind verschiedene Subtypen von CYP, darunter 2C19 und 3A4, an der Metabolisierung beteiligt und erzeugen mehr als 100 Metaboliten von THC. Dazu gehören di- und trihydroxy Komponenten, Ketone, Aldehyde und Carboxylsäuren [42,48,79]. THC-OH und THC-COOH sind die Hauptmetaboliten des THC und sind für die analytische Bestimmung von besonderer Bedeutung. THC-OH erreicht durchschnittlich 13 Minuten nach Beginn des Rauchens seine maximale Konzentration. Die Plasmakonzentration von THC-OH beträgt beim inhalativen Konsum nur etwa 10 % der THC-Konzentration und liegt somit deutlich unter derjenigen bei oraler Aufnahme [48]. Laut einer Studie von Sempio et al. aus dem Jahr 2020 werden etwa 74 % des inhalierten THC zu THC-OH metabolisiert. Die restlichen 26 % des THC-OHs, das aus der Vorstufe THC entsteht, werden direkt zu THC-COOH verarbeitet, ohne den Kreislauf zu durchlaufen [95]. Der inaktive Metabolit THC-COOH entsteht durch Oxidation des aktiven Produkts THC-OH über eine Aldehyddehydrogenase und unter Beteiligung mehrerer Cytochrom-P450-Enzyme [33]. Die Konzentration vom THC-COOH steigt nach dem Ende des Konsums stetig an und übertrifft nach etwa 30 bis 45 Minuten die Konzentration von THC und THC-OH. In Phase II der Biotransformation wird an dem C11 Atom, speziell an der Carboxylgruppe von THC-COOH, Glucuronsäure übertragen. Dadurch steigt die Wasserlöslichkeit des Endprodukts und erleichtert so die erwünschte Exkretion. Die „THC-Carbonsäure“ und die konjugierten Formen sind dabei die Endprodukte der Biotransformation in der Leber [48]. Die durchschnittliche Plasma-Clearance-Rate beträgt bei gelegentlichen Konsumenten 36 L/h und bei regelmäßigen Konsumenten 60 L/h [32,80].

2.5.4 Elimination

Mindestens 65 % der THC-Metabolite werden über den Stuhl ausgeschieden und etwa 20-25 % über den Urin. Bis zu 80-90 % der THC-Dosis sind innerhalb von fünf Tagen ausgeschieden [43,73]. Es konnten bis zu 18 Metabolite des THC im Urin nachgewiesen werden, die allesamt hydroxyliert oder carboxyliert sind [36,42]. Der primäre Metabolit im Urin ist die Glucuronsäure, eine konjugierte Form der „THC-Carbonsäure“. Im Gegensatz dazu werden THC und THC-OH vorwiegend über den Stuhl ausgeschieden [48]. Die Plasmaeliminationshalbwertszeit von THC wird im Durchschnitt mit 1-4 Tagen und von THC-OH mit 12-36 Stunden angegeben [33]. Da THC dem enterohepatischen Kreislauf unterliegt und kontinuierlich aus lipophilen Speichergeweben freigesetzt wird, können nach mehrtägiger Abstinenz bei regelmäßigem Konsum noch geringe Mengen THC nachgewiesen werden [98]. Bedeutend ist, dass die Halbwertszeit von THC und THC-OH unabhängig vom Konsummuster ist. Da aber bei einem regelmäßigen Konsum das THC im Fettgewebe gespeichert wird und mit der Zeit wieder dem Blutkreislauf zugeführt wird, kann das THC und THC-COOH bei regelmäßigen Konsumenten länger nachgewiesen werden. Die Halbwertszeit der Exkretion von THC-COOH wurde auf 3-4 Tage geschätzt [33,48,98].

In einer Studie von Johansson et al. aus dem Jahr 1988 konnte festgestellt werden, dass die Plasmaeliminationshalbwertszeit von THC-COOH bei chronischen Rauchern sogar bis zu 12,6 Tage betragen kann, sofern THC-COOH über vier Wochen im Blut nachweisbar war [50]. Die Abbildung 4 veranschaulicht den Metabolismus der Cannabinoide.

2.5.5 Plasmakonzentration

2.5.5.1 Inhalativer Konsum

Eine Studie von Huestis et al. (1992) befasste sich mit der Absorption und der Erfassung der Plasmakonzentrationen von THC, THC-OH und THC-COOH nach der Inhalation von 15,8 mg (1,75 %) und 33,8 mg (3,55 %) THC über einen Zeitraum von 7 Tagen. THC konnte schon unmittelbar nach dem ersten Zug im Plasma nachgewiesen werden. Die Werte stiegen anschließend rasant an und durchschnittliche Peak-Werte von 84,3 ng/mL und 162,2 ng/mL wurden erreicht. Innerhalb von zwei Stunden sank die THC-Konzentration auf 5 ng/mL bzw. unter 5 ng/mL. Die maximale THC-Konzentration übertraf die von THC-OH um das Zwanzigfache und die von THC-COOH um das Dreifache [45,80]. Die generelle Nachweisbarkeitsdauer von THC variierte bei einer Dosis von 15,8 mg THC zwischen 3 und 12 Stunden und bei einer Dosis von 33,8 mg THC zwischen 6 und 27 Stunden [42].

Die durchschnittliche maximale THC-OH-Konzentration betrug 6,7 ng/mL nach einer THC-Dosis von 15,8 mg (1,75 %) und 7,5 ng/mL nach einer Dosis von 33,8 mg (3,55 %), die jeweils etwa 13,5 Minuten nach dem Konsum erreicht wurden. Beim inhalativen Konsum entsprach die THC-OH-Konzentration 6-10 % der THC-Konzentration. Die durchschnittliche Nachweisbarkeit von THC-OH betrug 4,5 Stunden. THC-COOH konnte bereits nach 8 Minuten im Plasma nachgewiesen werden und stieg über 4 Stunden kontinuierlich an. Die maximale Konzentration von THC-COOH war niedriger als die von THC, aber höher als die von THC-OH. Die durchschnittliche maximale Konzentration lag bei 24,5 ng/mL und 54,0 ng/mL. THC-COOH konnte im Durchschnitt noch nach 84 Stunden bzw. 152 Stunden nachgewiesen werden [43].

In der Studie von Perez-Reyes et al. (1981) wurden die Plasmakonzentrationen bei 6 Probanden nach dem Konsum von zwei Zigaretten mit einem THC-Gehalt von 8,82 mg, welche in einem Abstand von 2 Stunden konsumiert wurden, beobachtet. Die maximale THC-Konzentration bewegte sich in einem Spektrum von 45,6-187,8 ng/mL nach der ersten Zigarette und von 33-118 ng/mL nach der zweiten Zigarette. Die Nachweisbarkeit von THC im Plasma betrug nach dem Konsum von zwei Zigaretten 3,5 bis 5,5 Stunden [86].

In einer Studie von Ohlsson et al. rauchten 11 männliche Probanden eine Zigarette mit einer Dosis von 19 mg THC. Die durchschnittliche THC-Konzentration betrug nach 3 Minuten 77 ng/mL. Nach dem Rauchen sank die Konzentration schnell ab, nach 30 Minuten lag die durchschnittliche Konzentration bei 12,4 ng/mL und nach 4 Stunden bei nur noch 1,6 ng/mL [78,84]. Die Studie von Hartman et al. (2016) ergab, dass die THC-Konzentration im Durchschnitt innerhalb von 90 Minuten auf die Hälfte abfiel. Die Baselinekonzentration wurde etwa 5 Stunden nach dem Konsum wieder erreicht [39].

2.5.5.2 Oraler Konsum

Bei oralem Konsum vergleichbarer THC-Dosen wurden allgemein niedrigere Konzentrationen im Plasma festgestellt. Dennoch war der Anteil von THC-OH im Vergleich zur inhalativen Aufnahme erhöht [32]. Beim Verzehr eines „Cookies“ mit einem THC-Gehalt von 20 mg wurden maximale THC-Konzentrationen von 4,4 bis 11 ng/mL festgestellt. Die höchsten Plasmakonzentrationen wurden 60 bis 90 Minuten nach dem Konsum erreicht. Nach 3 Stunden sank die THC-Konzentration im Plasma auf unter 1 ng/mL ab [84]. Ebenso konnte in Studien von Huestis und Law et al. festgestellt werden, dass 4 bis 6 Stunden nach oralem Konsum eines „Cookies“ mit 20 mg THC maximale THC-Konzentrationen von weniger als 10 ng/mL erreicht wurden [42,67].

2.5.6 Urinkonzentration

Da ca. 20-25 % des THCs in Form von THC-COOH über den Urin ausgeschieden werden, kann der Urin einen bedeutenden analytischen Parameter in der forensischen Toxikologie darstellen, um einen vergangenen Cannabiskonsum nachzuweisen [42,73].

In der Studie von Huestis im Jahr 1996 wurden im Urin nach dem Konsum eines „Joints“ mit 15,8 mg (1,75 %) und 33,8 mg (3,55 %) THC anfängliche THC-COOH-Konzentrationen von 47 ng/mL \pm 22,3 und 75,3 \pm 48,9 ng/mL festgestellt. Die durchschnittliche Abnahmezeit der Urinproben lag bei 3,7 \pm 0,6 Stunden (1,75 %) bzw. 3,0 \pm 0,5 Stunden (3,55 %) nach dem Konsum. Die durchschnittliche maximale Konzentration wurde mit 89,8 \pm 31,9 ng/mL bzw. 153,4 \pm 49,2 ng/mL angegeben, die 7,7 \pm 0,8 Stunden bzw. 13,9 \pm 3,5 Stunden nach dem Konsum erreicht wurden. THC-COOH war im Durchschnitt noch 33,7 \pm 9,2 Stunden bzw. 88,6 \pm 23,2 Stunden nach dem Konsum nachweisbar [47]. Smith-Kielland et al. beobachteten im Jahr 1999, dass bei gelegentlichen Konsumenten THC-COOH auch nach ca. 12,3 Tagen und bei chronischen Konsumenten nach ca. 26,5 Tagen im Urin nachweisbar war. Dabei wurde ein Cut-off-Wert von 20 ng/mL THC-COOH verwendet [99]. In der Literatur wird bei chronischen Rauchern auch eine extrem lange Detektionszeit von 95 oder 110 Tage angegeben [19,58].

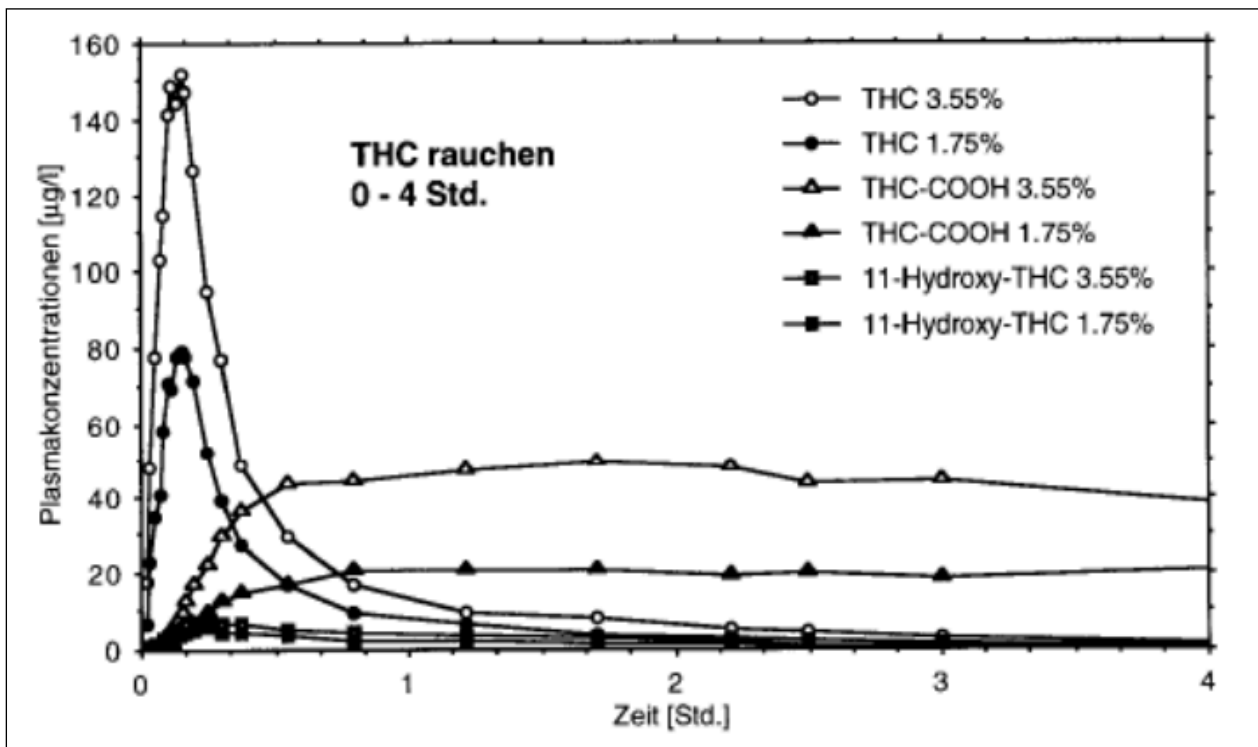


Abbildung 3: Durchschnittliche Plasmakonzentration von THC, THC-OH und THC-COOH in zeitlicher Korrelation nach inhalativem Cannabiskonsum.

Quelle: Freisleben SK, 2011

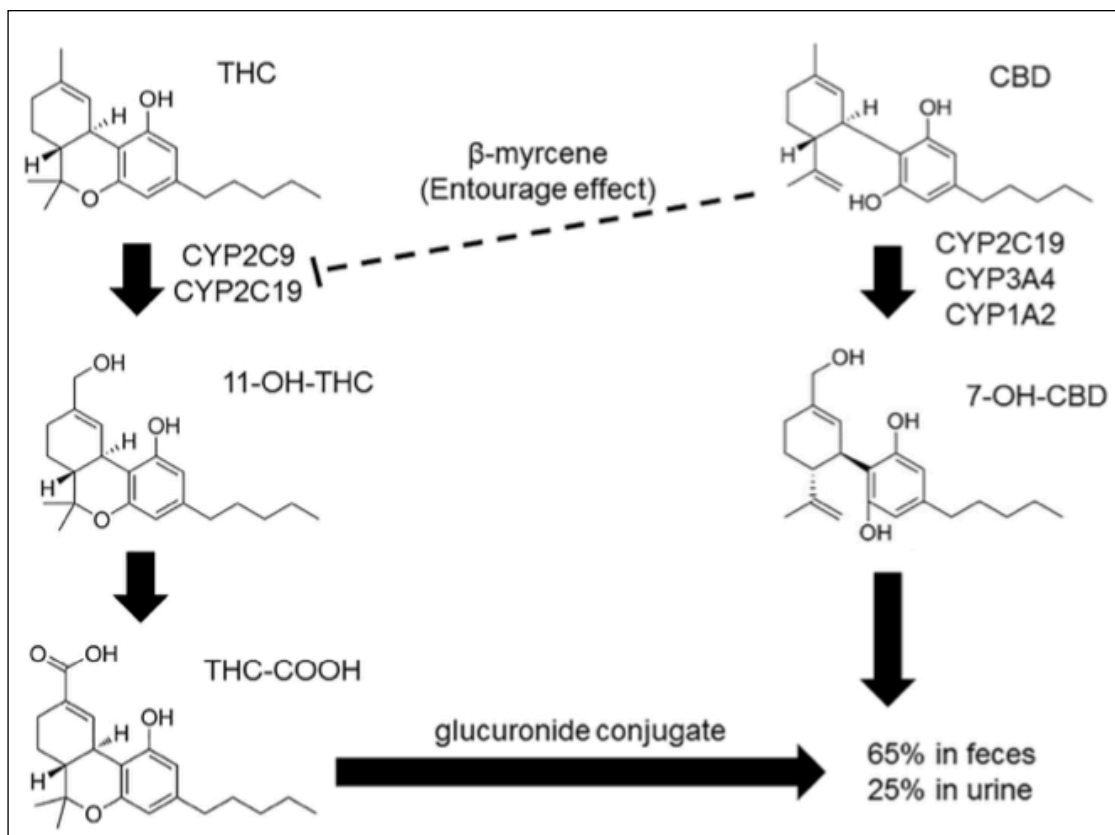


Abbildung 4: Metabolismus der Cannabinoide.

Quelle: Maayah ZH et al., 2020

2.6 Wirkungen des Cannabiskonsums

2.6.1 Effekt auf den Konsumenten

Um eine Wirkung durch THC zu erzielen, sind bei inhalativer Aufnahme mindestens 2 bis 6 mg und bei oraler Aufnahme mindestens 10 bis 20 mg erforderlich [78]. Sobald THC in den Blutkreislauf gelangt und an den CB1- und CB2-Rezeptoren bindet, treten beim Rauchen bereits nach wenigen Sekunden oder Minuten erste Effekte auf. Psychische Effekte umfassen Euphorie, Gelassenheit, Wahrnehmungsveränderungen sowie Beeinträchtigungen im Zeitempfinden, motorischen Fähigkeiten und Erinnerungsvermögen [37]. Diese Erscheinungen erreichen nach zwei oder mehr Stunden ein Plateau [3]. Wird Cannabis in Gesellschaft konsumiert, kann es auch zu erhöhter Gesprächigkeit und vermehrten Lachanfällen führen [35]. Unangenehme Nebenwirkungen wie Panikattacken, Angstzustände, Paranoia oder Psychosen werden meist nur bei sehr hohen Mengen oder bei unerfahrenen Konsumenten berichtet [3,34,37]. Im somatischen Bereich werden das kardiovaskuläre, gastrointestinale, respiratorische und sensorische System durch THC deutlich beeinflusst. Innerhalb weniger Minuten bis 15 Minuten nach Konsumbeginn erhöht sich die Herzfrequenz um 20 bis 50 %, sodass Werte von bis zu 160 Schläge pro Minute erreicht werden können. Außerdem erhöht sich der Blutdruck sowohl im Stehen als auch im Sitzen [3,21,35,37]. Es kommt generell zu einer Vasodilatation der Gefäße, insbesondere im Augenbereich, was die typische konjunktivale Injektion bei akutem Cannabiseinfluss verursacht [41]. Weitere somatische Erscheinungen sind Mundtrockenheit, erhöhter Appetit, erweiterte Pupillen, gestörte Feinmotorik, erniedrigte Atemfrequenz und verminderte Darmmotilität [32,37,42]. Eine umfassende Übersicht über die psychischen und physischen Effekte von Cannabis bietet Tabelle 1. In einer Studie von Desrosiers et al. aus dem Jahr 2015 wurden 11 gelegentliche und 14 regelmäßige Konsumenten auf akute Cannabiseffekte untersucht. Dabei zeigten gelegentliche Konsumenten trotz geringerer THC-Konzentration im Blut stärkere psychomotorische Beeinträchtigungen als chronische Konsumenten. Die Herzfrequenz und der Blutdruck waren in der Gruppe der gelegentlichen Konsumenten signifikant erhöht und die Konsumenten berichteten von längeren und intensiveren subjektiven Effekten. Diese Unterschiede wurden durch eine mögliche dauerhafte Toleranzbildung bei chronischen Konsumenten erklärt [21].

Ramaeckers et al. stellten aber im Jahr 2016 fest, dass bei chronischen Konsumenten keine Toleranz in Bezug auf neurokognitive Beeinträchtigungen vorhanden war. Die Studie überprüfte die neurokognitive Leistung von gelegentlichen und chronischen Konsumenten, wobei beide Gruppen erhebliche Beeinträchtigungen zeigten, die nicht mit dem Konsummuster korrelierten [90].

Der Metabolit THC-OH, der mindestens äquipotent zum THC ist, verursacht ein ähnliches Spektrum an Effekten [68]. Einige pharmakologische Studien an Tieren berichten sogar, dass THC-OH um das Dreifache bis Siebenfache potenter ist als THC [53]. Im Gegensatz dazu hat der psychoinaktive Metabolit THC-COOH antiinflammatorische und analgetische Funktionen im Organismus und antagonisiert einige Effekte des THCs [32]. Die meisten psychischen und somatischen Effekte klingen im Durchschnitt 3-6 Stunden nach dem Konsum ab [42]. Wechselwirkungen von THC mit anderen psychotropen Substanzen wurden auch beobachtet [33].

Der Mischkonsum mit Alkohol verstärkt den Effekt des THCs und kann zu erhöhter Euphorie beim Rauscheintritt sowie nachfolgender Sedierung führen. Andererseits antagonisieren psychotrop wirksame Stimulanzien wie Kokain und Amphetamine die Wirkung von Cannabis [33]. Eine tödliche Überdosis durch Cannabis ist äußerst unwahrscheinlich, da die mediane letale Dosis eines oralen Konsums je nach Geschlecht und Gewicht mit 800 bis 1900 mg/kg angegeben wird [32]. Andere Autoren geben absolute Werte zwischen 15 g und 70 g an [34]. Bis dato sind keine eindeutigen Todesfälle durch eine reine Überdosis an Cannabis bekannt, da eine derartige letale Dosis selbst von chronischen Konsumenten nicht annähernd erreicht wird [32].

2.6.2 Effekt auf das Fahrverhalten im Straßenverkehr

Cannabis hat sich in den vergangenen Jahrzehnten weltweit als meist verbreitete Droge nach Alkohol und Tabak etabliert [27]. Aufgrund seiner Einstufung als Betäubungsmittel und der starken Auswirkungen auf den Organismus spielt Cannabis eine bedeutende Rolle in Bezug auf die Verkehrssicherheit [3]. In einer Studie von Daldrup und Meininger werden beim Rauschverlauf drei Phasen unterschieden. In der akuten Phase treten typische Fahrauffälligkeiten wie unregelmäßige Fahrgeschwindigkeiten, verantwortungslose Fahrstreifenwechsel und Konzentrationsschwächen auf, die zu Missachtung von Warnschildern oder Überfahren von roten Ampeln führen können. Es folgt eine subakute Phase mit ähnlichen Fahrauffälligkeiten, die etwa 4 bis 6 Stunden dauert. Die postakute Phase kann bis zu 24 Stunden andauern und ist durch leichte Konzentrationsschwächen und Ablenkbarkeit gekennzeichnet [18]. Andere Abhandlungen beschreiben eine akute Phase und eine Residualphase, die jeweils 8 bzw. bis zu 48 Stunden andauern. Bei gelegentlichen Konsumenten treten viele der nachgewiesenen Beeinträchtigungen kurz nach dem Konsum auf. Im Vergleich dazu zeigten regelmäßige Konsumenten unter akutem Konsum oder während einer Abstinenzphase keine stärkeren Verhaltensdefizite als gelegentliche Konsumenten [33]. Ortiz-Peregrina et al. (2020) untersuchten 20 Probanden mit gelegentlichem Konsummuster auf visuelle Erscheinungen und deren Fahrleistung. Visuell blieb die Pupillengröße nach dem Konsum annähernd unverändert, jedoch war die Akkommodationsfähigkeit verlangsamt. In Bezug auf die Fahrleistung wurde in der Stadtsimulation keine statistisch auffällige Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeit, längeren Gesamtzeit zum Ziel oder leicht erniedrigten Fahrperformance, welches anhand des Overall Driving Performance Scores gemessen wurde, festgestellt [85].

Sewell et al. (2009) berichteten, dass Cannabiskonsumenten unter akutem Einfluss eine seitliche Abweichung der Fahrzeugposition nicht kompensieren konnten. Außerdem zeigten sich Beeinträchtigungen bei der Kontrolle der Geschwindigkeit anhand des Tachometers. Zusätzlich wurde festgestellt, dass die Reaktion oder das Einleiten einer Bremsung beim Umschalten der Ampel verzögert ist, sodass das Risiko eines Unfalls erhöht ist [96]. Hartman et al. (2015) untersuchten die seitliche Abweichung der Krafffahrzeugposition unter akutem Cannabiseinfluss. Bei einer THC-Konzentration von 10 ng/mL im Blut zeigte sich eine seitliche Abweichung von 8,4 % und bei 20 ng/mL betrug die Abweichung 16 % [40].

Insgesamt konnte in der Studie, die auch den Alkoholeinfluss berücksichtigte, festgestellt werden, dass Cannabis die Kontrolle über die seitliche Position des Fahrzeugs reduziert, wobei die Abweichung direkt proportional mit der THC-Konzentration zunimmt [40].

Huestis und Smith beschrieben, dass THC das Fahrverhalten signifikant beeinträchtigt, da das Risikoverhalten steigt, die Reaktionszeit verzögert wird und die Entscheidungsfähigkeit eingeschränkt ist. Diese Beeinträchtigungen zeigten sich noch sechs Stunden nach dem Konsum [48]. Alle diese Ausfallerscheinungen wurden auch in Fahrsimulationsstudien bestätigt [42]. Eine Metaanalyse von Krüger zeigte, dass die Leistungseinbußen in der ersten Stunde nach dem Konsum am stärksten ausgeprägt waren. Nach drei Stunden waren nur bei Konsum hoher THC-Dosen von mehr als 18 mg starke Beeinträchtigungen im Straßenverkehr zu erwarten [63].

Tabelle 1: Überblick psychischer und physischer Effekte von Cannabis.

Psychische Effekte	Physische Effekte
<ul style="list-style-type: none"> • Euphorie und Entspannung • Wahrnehmungsveränderungen • Verzerrte Zeitwahrnehmung • Intensivierung der sensorischen Erfahrungen • Beeinträchtigung von Kurzzeitgedächtnis und Aufmerksamkeit • Störungen der motorischen Fähigkeiten • Einschränkung von Reaktionszeit und komplexen Aktivitäten 	<ul style="list-style-type: none"> • Ansteigen des Blutdrucks und der Körpertemperatur • Erhöhte Herzfrequenz • Schläfrigkeit • Hunger- und Durstgefühle • Kopfschmerzen, Übelkeit und Erbrechen • Parästhesien • Erweiterte Pupillen • Störungen der Feinmotorik • Zittern und Mundtrockenheit

Quelle: Haller R and Dittrich I, 2005

2.7 Zusammenhang von Plasmakonzentration und Wirkung

Ein entscheidender Aspekt liegt in der Ermittlung und dem Verständnis der Beziehung zwischen der Plasmakonzentration von THC und den auftretenden Wirkungen. Im Straßenverkehr existieren keine offiziellen Konzentrationsgrenzen für THC, ab denen sicher von einer fahrrelevanten Straßenverkehrsbeeinträchtigung ausgegangen werden kann [78].

In ihrer Studie aus dem Jahr 1980 untersuchten Ohlsson et al. die Auswirkungen von THC bei 11 männlichen Probanden, indem THC inhalativ, oral und intravenös verabreicht wurde, jeweils im Abstand von einer Woche [84]. Nach inhalativer und intravenöser Aufnahme von Cannabis wurde die maximale psychische Wirkung in Form des „Highs“ nach 20 bis 30 Minuten erreicht. Körperliche Wirkungen wie erhöhter Herzschlag und konjunktivale Injektion traten bereits nach einigen Minuten auf. Im Durchschnitt hielt die Wirkung 3 bis 4 Stunden an, bevor der Normalzustand wieder erreicht wurde. Die Dauer des maximalen Effekts hängt von der Dosis und dem Individuum ab und kann zwischen 45 Minuten und mehr als 60 Minuten variieren. Auffällig ist jedoch, dass nach inhalativer Aufnahme die THC-Plasmakonzentration bereits rapide gesunken ist, bevor maximale psychische Erscheinungen aufgetreten sind. Dies wird auf die Distributionsphase innerhalb der ersten Stunde zurückgeführt, wodurch eine gute Korrelation zwischen Plasmakonzentration und Wirkung erst ein bis vier Stunden nach dem Konsum gegeben ist [32]. Diese zeitliche Diskrepanz wurde auch in der Studie von Ohlsson et al. (1980) diskutiert. Aufgrund der lipophilen Eigenschaften von THC wird vermutet, dass eine Verschiebung des THCs aus dem Blutkreislauf in die lipophileren Kompartimente, insbesondere dem zentralen Nervensystem, stattfindet. Dadurch kommt es zum Absinken der THC-Konzentration im Blut und Serum. Auch Versuche an Mäusen konnte diese reziproke Verschiebung nachweisen, bei der die Konzentration von THC im Gehirn anstieg, während die Plasmakonzentration rapide abfiel [84]. Diese Verzögerung ist auch bei oraler Applikation von Cannabis zu beobachten. Die konjunktivale Injektion ist nach 30 bis 60 Minuten aufgetreten und hat je nach Dosis seine maximale Wirkung nach 60 bis 180 Minuten. Der psychotrope Effekt entfaltet sich nach 30 bis 90 Minuten und erreichte sein Maximum nach zwei bis vier Stunden, bevor nach knapp sechs Stunden der Normalzustand wieder erreicht wurde. Auch hier erfolgte eine Verzögerung des psychotropen Effekts von ein bis drei Stunden, während die Plasmakonzentration bereits gesunken ist [32].

Diese Verschiebung wurde auch in den Arbeiten von Barnett et al. (1982) und Cocchetto et al. (1981) beschrieben, die in ihren Studien die Pharmakokinetik von THC analysierten. Die Beziehung zwischen Plasmakonzentration und Wirkung wurde von ihnen mit einer Hysteresiskurve, die gegen den Uhrzeigersinn verläuft, formuliert [4,15]. Es existieren jedoch mathematische und pharmakokinetische/pharmakodynamische Modelle, die eine plausible Korrelation zwischen Plasmakonzentration und auftretender Wirkung bei Konsumenten ermöglichen. Das pharmakokinetische/pharmakodynamische Modell beschreibt mithilfe der „Hill Equation“ die Intensität der subjektiv empfundenen Effekte [51].

Diese hängt von der Menge des THCs im zentralen Nervensystem, der Menge im gesamten Kompartiment, der Kinetik von THC, der Eliminierung von THC im zentralen Nervensystem und dem Transfer von THC aus dem gesamten Kompartiment in das zentrale Nervensystem ab [51]. Neben dem zeitlichen Aspekt der Verzögerung spielt auch die Entwicklung der Toleranz keine unwichtige Rolle. In einer Untersuchung von Lindgren et al. (1981) wurden gelegentliche und chronische Konsumenten zusammen mit einer Placebogruppe auf ihre Plasmakonzentrationen und Wirkungen hin untersucht. Es wurde beobachtet, dass der somatische Wirkungsverlauf nach Aufnahme derselben Dosis innerhalb der Gruppen unabhängig vom Konsummuster war. Jedoch war die Plasmakonzentration in der Gruppe der chronischen Konsumenten deutlich höher als in den restlichen Gruppen [70].

In zahlreichen anderen Studien wurde festgestellt, dass somatische Effekte, gemessen anhand von Tests wie Finger-Finger- oder Nase-Finger-Versuchen, mit zunehmender THC-Plasmakonzentration deutlich anstiegen [78]. Daldrup fand in einem Forschungsprojekt keinen Zusammenhang von THC-Konzentration und Ausfallerscheinungen. Deshalb sollte der Cannabis-Influence-Factor, kurz CIF, den Zusammenhang von Beeinträchtigung und Plasmakonzentration besser beschreiben können. Der CIF errechnet sich „als Quotient aus der Summe der molaren Konzentrationen an THC und 11-OH-THC, dividiert durch die mit dem Faktor 0,01 multiplizierte molare Konzentration an THC-COOH.“ [78]. Nach Meinung mehrerer Autoren gibt es im Vergleich zur alleinigen Plasmakonzentration eine stärkere Korrelation von Beeinträchtigungen und CIF, die von Polizeibeamten im Straßenverkehr mehrfach angewendet wurde. Dabei wurden typische Cannabiseffekte wie lethargisches Verhalten, verzögertes Auffassungsvermögen, Müdigkeit oder Fahren in Schlangenlinien bei zunehmendem CIF beobachtet [18,78]. Da der CIF jedoch nicht ausreichend evidenzbasiert ist und keinem pharmakologischen Modell zugrunde liegt, können in Einzelfällen Fehlinterpretationen auftreten [78].

Dies wurde auch in einer Studie von Daldrup et al. deutlich, in der Personen mit einem erhöhten CIF-Wert keine Ausfallerscheinungen zeigten, während Personen mit einem niedrigen CIF-Wert stark beeinträchtigt waren [18]. Daher ist die Anwendung des CIFs rechtsmedizinisch und im Strafrecht stark umstritten und wird derzeit kritisch gesehen. Der CIF-Wert stellt bisher lediglich eine von der Wissenschaft entwickelte Formel dar, mit dessen Hilfe eine absolute Fahruntauglichkeit festgestellt werden soll. Im Bereich des Strafrechts wird der CIF-Wert jedoch weiterhin nicht anerkannt [78].

2.8 Rechtsprechung und Grenzwerte im Straßenverkehr

In den vergangenen Jahren ist der Konsum von Cannabis in Deutschland erheblich angestiegen [27]. Diese Entwicklung spiegelt sich auch im Straßenverkehr wider, in der die Anzahl der Verkehrsunfälle mit Personenschäden unter dem Einfluss illegaler Drogen deutlich zugenommen hat. Zu Beginn der 90er-Jahre wurden 341 Unfälle mit Personenschaden registriert, bei denen 498 Menschen verunglückten und 13 tödlich verletzt wurden. Diese Tendenz hat sich weiter verstärkt und bis zum Jahr 1999 stieg die Anzahl auf 880 Unfälle mit Personenschaden, 1352 Verunglückte und 60 Tote [107]. Cannabis zählt zu den am häufigsten konsumierten illegalen Drogen und ist allen drei Anlagen des Betäubungsmittelgesetz (BtMG) unterstellt. Anlage I verbietet den Erwerb, Besitz, Umgang und Handel mit nicht verkehrsfähigen Betäubungsmitteln, während der Konsum hier nicht unter das Verbot fällt. Sobald aber Cannabis konsumiert und unter Einfluss am Straßenverkehr teilgenommen wird, können Verstöße gegen das Straßenverkehrsgesetz (StVG) eintreten [30,78].

Wer unter dem Einfluss einer berauschenden Droge wie Cannabis ein Kraftfahrzeug im Straßenverkehr führt, begeht eine Ordnungswidrigkeit nach § 24a Abs. 2 des Straßenverkehrsgesetzes [78].

§ 24a 0,5 Promille-Grenze

(2) „Ordnungswidrig handelt, wer unter der Wirkung eines in der Anlage zu dieser Vorschrift genannten berauschenden Mittels im Straßenverkehr ein Kraftfahrzeug führt. Eine solche Wirkung liegt vor, wenn eine in dieser Anlage genannte Substanz im Blut nachgewiesen wird.“ [12].

Ein Grenzwert für die Droge Alkohol existiert bereits und beträgt 0,5 Promille. Die Ordnungswidrigkeit wird mit einem Bußgeld und einem Fahrverbot von bis zu 3 Monaten bestraft. Auch bei absoluter Fahruntüchtigkeit gibt es einen Grenzwert für Alkohol. Bei 1,1 Promille handelt es sich um eine Straftat unabhängig davon, ob Ausfallerscheinungen oder Fahrfehler vorhanden sind. Grenzwerte für eine absolute Fahruntüchtigkeit bestehen aufgrund der komplexen Pharmakodynamik und des Wirkmechanismus bei Cannabis nicht [78].

Mit Inkrafttreten des Gesetzes am 01.08.1998 wurde die Lücke bei der Ordnungswidrigkeit geschlossen, da damals eine strafrechtliche Ahndung bei einem festgestellten Drogenkonsum ohne Beweisanzeichen für eine Fahruntüchtigkeit, die bei Drogen - außer Alkohol - nicht exakt bestimmbar ist, nicht möglich war. Damit schlägt Deutschland eine „Null-Toleranz-Politik“ gegen illegale Drogen, da auch von einer Koinzidenz von Nachweisdauer und Wirkung ausgegangen wurde. Jahre später wurde auf Vorschlag der Forschung ein empfohlener Grenzwert eingeführt, der diese Koinzidenz von Wirkung und Nachweisdauer unterhalb von 1 ng/mL THC im Blutserum abstreitet [10,78,107].

Ist der Fahrer mit Beweisanzeichen wie drogentypische Fahrfehler oder neurologische und psychopathologische Ausfälle nicht in der Lage, das Kraftfahrzeug sicher zu führen oder resultiert eine konkrete Gefährdung anderer Straßenverkehrsteilnehmer, die auf den Konsum zurückzuführen ist, begeht eine Straftat nach § 316/§ 315c I Nr. 1a StGB [78].

§ 316 Trunkenheit im Verkehr

(1) „Wer im Verkehr (§§ 315 bis 315e) ein Fahrzeug führt, obwohl er infolge des Genusses alkoholischer Getränke oder anderer berauschender Mittel nicht in der Lage ist, das Fahrzeug sicher zu führen, wird mit Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr oder mit Geldstrafe bestraft, wenn die Tat nicht in § 315a oder § 315c mit Strafe bedroht ist.“ [11].

Die Beschuldigten können dabei mit einer Freiheitsstrafe von bis zu einem Jahr beziehungsweise bis zu fünf Jahren und einem Bußgeld bestraft werden [107].

Seit der Einführung durch die Grenzwertkommission am 22.05.2007 markiert die THC-Konzentration von 1 ng/mL THC im Blutserum den aktuellen empfohlenen Grenzwert für eine Ordnungswidrigkeit gemäß § 24a Abs. 2 StVG [109]. Aufgrund der komplexen Pharmakokinetik und Wirkung von Cannabis existieren im Vergleich zu anderen Ländern uneinheitliche Grenzwerte. Eine exakte Übersicht zu den Grenzwerten europäischer Staaten, zahlreicher Bundesstaaten der USA, Kanada und Australien wird in der Abbildung 5 dargestellt.

Da es nach wissenschaftlichen Erkenntnissen keinen genauen Zusammenhang zwischen der Konzentration und der Wirkung gibt, wird aktuell vorgeschlagen, den Grenzwert zu ändern. Die Angemessenheit des aktuellen Grenzwertes von 1 ng/mL THC im Blutserum wird seit 2015 kontrovers diskutiert und des Öfteren eine Anhebung auf 3 ng/mL vorgeschlagen. Die Studie von Wagner et al. (2021) beschäftigte sich mit diesem Ansatz zur Anhebung und untersuchte zwei Gruppen von Kraftfahrern mit einer THC-Konzentration von unterhalb 3 ng/mL und mit mindestens 3 ng/mL THC im Blutserum auf ihrer Diagnose und Prognose bei einer Fahreignungsbegutachtung sowie auf ihre Drogenvorgeschichte und Konsummotive. Ergebnis dieser Untersuchung war, dass sich beide Gruppen in allen drei Fragestellungen nicht signifikant voneinander unterschieden. Abschließend kommen Wagner et al. (2021) zum Entschluss, dass eine Anhebung des aktuellen Grenzwertes im Sinne der Verkehrssicherheit nicht zielführend ist, da sich sonst Kraftfahrer unterhalb von 3 ng/mL THC im Blutserum mit bestimmten Risikofaktoren keiner Fahreignungsprüfung mehr unterziehen müssten. Somit würde der zur Wahrung der Verkehrssicherheit bestehende Selektionsmechanismus abgeschwächt. Außerdem ist derzeit unklar, wie eine Grenzwertanhebung gegenüber der Bevölkerung begründet werden soll, da die Überprüfung der Fahreignung bei Drogenkonsumenten mit großer Mehrheit befürwortet wird [62,109].

Auch die Schweiz verfolgt eine „Null-Toleranz-Politik“ gegenüber Cannabis und es gilt ein analytischer Grenzwert von 1,5 ng/mL THC im Vollblut. Dort wird in den letzten Jahren ebenfalls über eine Anpassung des Grenzwertes diskutiert [98,110].

In experimentellen Studien wurde gezeigt, dass fahrrelevante Beeinträchtigungen dosis- und konzentrationsabhängig sind. Außerdem sinkt nach dem Konsum von Cannabis die Bereitschaft sich ans Steuer zu setzen, da Konsumenten ihre Leistungsdefizite erkennen und sogar überschätzen. Analytisch wurde festgestellt, dass erste Beeinträchtigungen erst ab 1-2,5 ng/mL THC im Vollblut auftreten. Defizite, die einer Blutalkoholkonzentration (BAK) von 0,5 Promille entsprechen, zeigen sich bei 3,0 bis 4,1 ng/mL THC im Vollblut. 24 Stunden nach dem Konsum konnten keine Defizite mehr nachgewiesen werden. Epidemiologische Studien haben ergeben, dass Fahrer mit einer THC-Konzentration von unterhalb 5 ng/mL THC im Vollblut keine erhöhten Unfallrisiken zeigen im Vergleich zu nüchternen Fahrern. Das rechtsmedizinische Institut der Universität von Basel hat deshalb ein zweistufiges Vorgehen vorgeschlagen. Die erste Stufe umfasst Administrativmaßnahmen ab einer Konzentration von 2,2 ng/mL THC im Vollblut [98,110]. Der Sicherheitszuschlag von 30 % ist in dem Wert bereits inkludiert. Ab 4,3 ng/mL THC im Vollblut soll eine generelle Zuweisung zur Fahreignungsbegutachtung erfolgen. Damit würde Cannabis im Straßenverkehr ähnlich wie Alkohol behandelt werden [98,110].

Neben Ländern, die eine „Null-Toleranz-Politik“ mit „per-se-Grenzwerten“ verfolgen, verfügen Staaten wie Kanada, Norwegen oder die Niederlande spezielle evidenzbasierte Regelungen mit abgestuften Grenzwertsystemen oder strengere Ahndungen bei einem festgestellten Mischkonsum von Cannabis und einer weiteren Droge. In Norwegen gilt ein abgestuftes Grenzwertsystem, bei dem ein THC-Wert im Vollblut von 1,3 ng/mL wie eine Blutalkoholkonzentration von 0,2 ‰ BAK, ein THC-Wert von 3 ng/mL wie 0,5 ‰ BAK und ein THC-Wert von 9 ng/mL wie 1,2 ‰ BAK geahndet wird. In den Niederlanden gilt grundsätzlich ein THC-Grenzwert von 3 ng/mL im Vollblut bzw. 5 ng/mL im Blutserum. Wird jedoch ein Mischkonsum einer zusätzlichen Droge festgestellt, greift ein THC-Grenzwert von 1 ng/mL im Vollblut [9].

Auch im Bundestag wird über eine Anhebung des THC-Grenzwertes stark diskutiert. Vor allem die Linksfraktion spricht sich für eine Anhebung des derzeitigen Grenzwertes von 1 ng/mL THC Blutserum auf 10 ng/mL THC Blutserum und eine Gleichstellung von Cannabis und Alkohol im Straßenverkehr aus [10,109]. Hier gibt es Zusprüche und Ablehnungen von mehreren Seiten. Georg Würth, Geschäftsführer des Deutschen Hanfverbandes (DHV) kritisiert die Ungleichbehandlung von Cannabis und Alkohol im Straßenverkehr. Dieser fordert zweigeteilte THC-Grenzwerte von 3 ng/mL und 10 ng/mL, da THC im Vergleich zu Alkohol nicht linear abgebaut wird und viele Fahrer noch oberhalb des aktuellen Grenzwertes liegen würden, obwohl keine Wirkung mehr vorhanden sei. Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) lehnt die Forderung der Linksfraktion ab, da neue Studien darauf hinweisen, dass bei einem Wert von 3,8 ng/mL THC im Blutserum ähnliche Defizite wie bei einem Alkoholwert von 0,5 Promille zu erkennen sind. Die leitende Ärztin des Medizinisch-Psychologischen Instituts beim TÜV Nord unterstützt diese Ablehnung basierend auf der Annahme, dass Cannabis im Vergleich zu Alkohol aufgrund der komplexen Pharmakokinetik und -dynamik nicht gleichgestellt werden kann und die aufgenommene Menge auch stark von Konsumart und -erfahrung abhängt. Dr. Thomas Wagner stützt sich vor allem auf den präventiven Selektionsmechanismus, der die Verkehrssicherheit bewahren soll [6].

Der Bund gegen Alkohol und Drogen im Straßenverkehr (BADs) befürwortet die Stellungnahme vieler Parteien und somit die Ablehnung des Antrags zur Gleichstellung von Cannabis und Alkohol im Straßenverkehr, da die Straßenverkehrssicherheit vorrangig gewährleistet werden muss. Da auch die Zahlen der schweren Alkoholunfälle ansteigen, soll vielmehr die Promillegrenze bei Alkohol herabgesetzt werden anstatt über eine Anhebung des THC-Grenzwertes zu diskutieren [6].

THC (ng/mL) Blutserum	THC (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)
0.3 (0.6)	(0.15) 0.3	Slowenien Schweden
1 (2)	(0.5) 1	Belgien, Deutschland Dänemark, Finnland, Frankreich, Griechenland
2 (2)	(1) 1 ³	Luxemburg Pennsylvania (USA)
(2)	1	Irland
(2.6)	1.3 / 3 / 9	Norwegen⁴
(3)	1.5	Schweiz⁵
(4)	2	Tschechische Republik
(4)	2	Grossbritannien
(4)	2	Polen
(4)	2 / 10 ²	Nevada (USA)
(4)	2 / 10 ²	Ohio (USA)
(4)	2 / 2.5 ⁸ / 5	Kanada
5 (6)	1 ⁶ / 3	Niederlande Portugal
(10)	5	Maine, Montana, Colorado ⁹ , Washington State (USA)
nicht definiert		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

Abbildung 5: Aktuell verwendete THC-Grenzwerte (Blutserum oder Vollblut) im Straßenverkehr nach Staaten/Bundesstaaten. Modifiziert nach Bucher B et al., 2020.

Quelle: Bucher B et al., 2020

2.9 Fahrerlaubnis-Verordnung

Die rechtlichen Bestimmungen zur Eignung zum Führen von Kraftfahrzeugen im Straßenverkehr sind in der Fahrerlaubnis-Verordnung festgelegt. Verstöße gegen diese Vorschriften oder die Nichteinhaltung der erforderlichen Bedingungen führen gemäß § 3 Abs. 1 des Straßenverkehrsgesetzes (StVG) dazu, dass die Fahrerlaubnis durch die Straßenverkehrsbehörde entzogen wird. Falls die Eignung zum Führen eines Kraftfahrzeugs nicht mehr gegeben ist, kann die Behörde gemäß § 46 Abs. 1 der Fahrerlaubnis-Verordnung die Fahrerlaubnis des Inhabers entziehen. Dies ist insbesondere bei Erkrankungen oder Mängel gemäß den Anlagen 4, 5 oder 6 sowie bei erheblichen und wiederholten Verstößen gegen verkehrsrechtliche Vorschriften der Fall. Der Cannabiskonsum spielt eine erhebliche Rolle beim Verlust der Fahreignung, wie in Anlage 4, §§ 11, 13, 14 der Fahrerlaubnis-Verordnung dargestellt ist. In der Gruppe Betäubungsmittel, andere psychoaktiv wirkende Stoffe und Arzneimittel unter Ziffer 9, 9.1 und 9.2 wird festgelegt, dass ein regelmäßiger Cannabiskonsum eine absolute fehlende Fahreignung darstellt. Ein gelegentlicher Konsum ermöglicht hingegen eine Fahreignung, lediglich unter der Voraussetzung, dass ein striktes Trennungvermögen zwischen Fahren und Konsum, kein zusätzlicher Gebrauch von Alkohol oder anderen psychoaktiv wirkenden Stoffen und keine Störung der Persönlichkeit oder Kontrollverlust vorhanden sind [10,31,112]. Die Rechtsprechung der Fahrerlaubnis-Verordnung zeigt, dass die Fahreignung von Faktoren wie dem Konsummuster und zusätzlichen Tatbeständen wie Drogenkonsum sowie mangelndem Trennvermögen zwischen Fahren und Konsum abhängt. Diese Faktoren werden in Tabelle 2 verdeutlicht. Sollte anhand des Konsummusters, das aus rechtlich zulässigen Blutproben analysiert werden kann, keine Untauglichkeit festgestellt werden, jedoch eine mangelnde Fahreignung vermutet wird, sind Aufklärungsmaßnahmen erforderlich. Die Fahrerlaubnisbehörde kann dem Betroffenen das Beibringen eines medizinischen Gutachtens zur Ermittlung des Konsummusters oder einer Medizinisch-Psychologischen Untersuchung (MPU) hinsichtlich des Trennvermögens zwischen Konsum und Fahren auferlegen. Werden diese Anforderung nicht erfüllt oder fristgerecht eingereicht, so darf die Fahrerlaubnisbehörde gemäß § 11 Abs. 8 Satz 1 FeV die Fahreignung des Betroffenen als nicht gegeben ansehen [13,94,112]. Voraussetzung für eine gute Prognose durch den Gutachter an der Begutachtungsstelle sind eine einjährige Abstinenz, eine Aufarbeitung der Drogenproblematik durch Selbstreflexion, Beratungen, Psychotherapie oder Suchttherapie, eine stabile Abstinenz und eine zuverlässige Trennung von Konsum und Fahren [63].

Zusätzlich wird von Wagner et al. (2021) empfohlen die Anlage 4 zur FeV im Punkt 9.2.2 anzupassen, um eine doppelte Begutachtung in Form eines ärztlichen Gutachtens zur Feststellung des Konsummusters und einer medizinisch-psychologischen Untersuchung zur Frage des Trennungvermögens bei gelegentlichen Konsumenten vorzubeugen. Dieser Vorschlag sieht vor, dass gelegentliche Konsumenten unter Cannabiseinfluss ab 1,0 ng/mL THC im Blutserum am Verkehr teilnehmen dürfen und Fahreignung besteht, sofern ein Nachweis der Trennbereitschaft und ein Trennvermögen zwischen Konsum und Fahren vorhanden ist [109].

Dieser Formulierungsvorschlag basiert auf einer Studie, in der Kraftfahrer mit weniger als 3,0 ng/mL THC und Kraftfahrer mit mindestens 3,0 ng/mL THC im Blutserum keinerlei Unterschiede hinsichtlich der Drogenvorgeschichte, des Konsummusters, der Unfallbeteiligung und der Konsumdauer zeigten. Auch erhielten beide Gruppen mit annähernd gleicher Häufigkeit eine negative Beurteilung bezüglich ihrer Fahreignung [109].

Tabelle 2: Fahreignung nach FeV Anlage 4 Punkt 9.-9.2.2 zur Beurteilung der Fahreignung eines Kraftfahrzeugs im Straßenverkehr. Unterteilung in mehrere Spalten aufgrund verschiedener Kraftfahrzeugklassen.

9.	Betäubungsmittel, andere psychoaktiv wirkende Stoffe und Arzneimittel		
9.1	Einnahme von Betäubungsmitteln im Sinne des Betäubungsmittelgesetzes (ausgenommen Cannabis)	nein	nein
9.2	Einnahme von Cannabis		
9.2.1	Regelmäßige Einnahme von Cannabis	nein	nein
9.2.2	Gelegentliche Einnahme von Cannabis	ja wenn Trennung von Konsum und Fahren und kein zusätzlicher Gebrauch von Alkohol oder anderen psychoaktiv wirkenden Stoffen, keine Störung der Persönlichkeit, kein Kontrollverlust	ja wenn Trennung von Konsum und Fahren und kein zusätzlicher Gebrauch von Alkohol oder anderen psychoaktiv wirkenden Stoffen, keine Störung der Persönlichkeit, kein Kontrollverlust
9.3	Abhängigkeit von Betäubungsmitteln im Sinne des Betäubungsmittelgesetzes oder von anderen psychoaktiv wirkenden Stoffen	nein	nein
9.4	missbräuchliche Einnahme (regelmäßig übermäßiger Gebrauch) von psychoaktiv wirkenden Arzneimitteln und anderen psychoaktiv wirkenden Stoffen	nein	nein

Quelle: Bundesministerium für Justiz, https://www.gesetze-im-internet.de/fev_2010/anlage_4.html (Zuletzt abgerufen am 24.05.2023)

2.10 Differenzierung zwischen gelegentlichem und chronischem Konsum

Der Entzug der Fahrerlaubnis gemäß der Fahrerlaubnis-Verordnung hängt maßgeblich vom Konsummuster des Straßenverkehrsteilnehmers ab. Die Eignung zum Führen eines Fahrzeuges ist bei chronischem Konsum per se ausgeschlossen, während gelegentlicher Konsum in der Regel toleriert wird, sofern die im Kapitel Fahrerlaubnis-Verordnung aufgeführten zusätzlichen Aspekte erfüllt sind [10,31,112]. Allerdings können die Begriffe „chronischer“ und „gelegentlicher“ Konsum vielseitig verwendet und interpretiert werden. Denn offizielle und exakte Kriterien, die eine Differenzierung des Konsummusters erlauben, existieren nicht [78]. Im rechtlichen Sinne und in Anlage 4 der Fahrerlaubnis-Verordnung wird definiert, dass von einem chronischen Konsum gesprochen wird, wenn ein „täglich“ oder „nahezu täglich“ Konsum vorliegt. Gelegentlicher Konsum wird im Fachbereich als „mehrmaliger“, aber deutlich weniger als „täglich Konsum“ definiert [16]. Vor der Novellierung der Fahrerlaubnis-Verordnung wurden in Nordrhein-Westfalen Blutproben entnommen, um das Konsummuster des Betroffenen zu bestimmen. Aufbauend auf Studien von Daldrup werden hierfür die Konzentrationen von THC und THC-COOH aus dem Blutserum benötigt, um eine eindeutige Untauglichkeit zum Führen von Kraftfahrzeugen nachweisen zu können. Insbesondere ist die THC-COOH-Konzentration wichtig für die Identifikation eines regelmäßigen Konsums, da dieser Metabolit bei chronischem Gebrauch im Organismus akkumuliert und hohe Konzentrationen hervorruft. Daldrup hat hierbei folgende Grenzwerte festlegen können:

Ein einmaliger oder gelegentlicher Konsum liegt bei einer THC-COOH-Konzentration unterhalb von 5 ng/mL vor. Ein gelegentlicher Konsum ist bei einer THC-COOH-Konzentration von unterhalb 5 ng/mL und zusätzlichem positiven THC-Nachweis erwiesen, da aufgrund des raschen Abbaus von THC im Blut ein zweimaliger und damit gelegentlicher Konsum per Blutwerten bestätigt ist. Bei THC-COOH-Konzentrationen zwischen 5 und 75 ng/mL ist ein gelegentlicher Konsum erwiesen und es besteht zusätzlich der Verdacht auf einen regelmäßigen Konsum. Ab 75 ng/mL wird von einem chronischen Konsum gesprochen. Wichtig für die Interpretation der Blutwerte ist, dass die Festlegung dieser Grenzen auf Blutwerte basieren, die nach Anordnung in einem Zeitraum von acht Tagen erfolgen. Deshalb wurden die Grenzen durch Daldrup in Abhängigkeit der variablen Halbwertszeiten der Cannabinoide niedrig angesetzt, um weiterhin einen verkehrsrelevanten Selektionsmechanismus durch rechtliche Maßnahmen und die Anordnung einer MPU zu garantieren [16]. Bei spontanen Blutentnahmen durch die Polizei nach Anordnung gemäß § 81 Abs. 1 StPO in Verbindung mit § 46 Abs. 4 OWiG wurden vor allem bei regelmäßigen Konsumenten Werte von 150 ng/mL oder mehr festgestellt, wie auch die „Maastricht-Studie“ aus dem Jahr 2006 bestätigt. Werte von 100 ng/mL wurden bei gelegentlichen Konsumenten nur in einem engen zeitlichen Zusammenhang vorgefunden. Daher kann bei einem zusätzlichen Sicherheitszuschlag ab einem Wert von 150 ng/mL nach spontaner Blutentnahme von einem regelmäßigen Konsum ausgegangen werden [16,112].

Wird die längste Halbwertszeit von sieben Tagen beachtet, so können chronische Konsumenten mit einem Wert von 150 ng/mL nach acht Tagen den Grenzwert von 75 ng/mL unterschreiten, liegen aber mit hoher Wahrscheinlichkeit über dem Grenzwert von 5 ng/mL, sodass rechtliche Maßnahmen noch ergriffen werden können. Die Differenzierung zwischen gelegentlichem und einmaligem Konsum ist für die Rechtsanwendung etwas schwieriger. Eine alleinige Interpretation mithilfe der THC-COOH-Konzentration hat keine Aussagekraft, weshalb noch zusätzlich die THC-Konzentration herangezogen wird [16,112].

Nach Runderlass vom 18.12.2002 und mehrfacher Überarbeitung existiert bis heute eine Tabelle mit Befunderhebung, Beurteilung zum Konsummuster, zusätzlichen Auffälligkeiten und rechtlichen Maßnahmen [16,112].

Im Vergleich zum Erlass aus dem Jahr 1999 und Daldrups Grenzwertkonstellation ist nur der Begriff „erheblicher Konsum“ bei einer THC-COOH-Konzentration zwischen 5 und 75 ng/mL neu hinzugekommen. Dieser soll den Verdacht auf regelmäßigen Konsum als Begrifflichkeit ersetzen. Der Erlass mit der neuen Tabellenkonstellation, siehe Tabelle 3, zur Differenzierung des Konsummusters hat sich mittlerweile seit mehreren Jahren etabliert und Anwendung gefunden. Im Jahr 2005 und 2007 folgten die Bundesländer Brandenburg und Niedersachsen dem Beispiel aus NRW. Das Institut Rechtsmedizin in München hat diesbezüglich Schwellenwerte von 150 ng/ml THC-COOH als Nachweis eines regelmäßigen Konsums, Werte über 100 ng/ml THC-COOH als Hinweis eines häufigeren Konsums und Werte unter 100 ng/ml THC-COOH als kein gesicherter Nachweis für die Abgrenzung von gelegentlichem zu bloßem Probierkonsum angegeben [16,17]. Das Regierungspräsidium in Stuttgart geht bereits ab einer THC-COOH-Konzentration von 35 ng/mL von einem regelmäßigen Konsum aus. Diese Angabe beruht aber auf keiner wissenschaftlichen Erkenntnis [10].

Karschner et al. (2009b) haben eine Studie über chronischen Konsum durchgeführt, bei dem 25 Probanden, die regelmäßigen Konsum über mehrere Jahre angaben, eine 7-tägige Abstinenz durchgeführt haben und deren THC-, THC-OH- und THC-COOH-Konzentrationen täglich gemessen wurden. Diese wurden in ng/mL in Vollblut angegeben. Nach sieben Tagen wurden bei allen Probanden noch THC-COOH im Blut gemessen. Der Mittelwert lag am 7. Tag bei 6,2 ng/mL und acht Probanden hatten noch einen Wert über 5 ng/mL. Der Gesamtbereich lag bei 0,4 bis 36,5 ng/mL. Da das Blut/Serum-Verhältnis bei ca. 0,5 liegt, müssen diese Werte verdoppelt werden, um eine adäquate Blutserum-Konzentration zu erhalten [55].

Eine weitere Studie von Karschner et al. (2009a) beschäftigte sich mit der gleichen Fragestellung bei 18 chronischen Konsumenten. Hier wurden aber die Konzentrationen von THC, THC-OH und THC-COOH aus dem Blutplasma gemessen. Nach sieben Tagen konnten wieder bei allen THC-COOH im Blutserum gemessen werden. Der Median lag bei 9,3 ng/mL und der Gesamtbereich der 18 Probanden erstreckte sich von 2,8 bis 45,5 ng/mL. 15 Probanden waren am siebten Tag noch oberhalb von 5 ng/mL [54].

Beide Studien bestätigen Daldrups Meinung, dass mithilfe der Schwellenwerte, die aktuell zur Bestimmung eines regelmäßigen Konsums in vielen Bundesländern angewendet werden, bei richtiger Anwendung der größte Anteil chronischer Konsumenten erfasst werden. Sofern diese Konzentrationen über 5 ng/mL haben, können bei möglichen Auffälligkeiten zusätzliche Nachuntersuchungen oder rechtliche Maßnahmen, wie eine MPU, angeordnet werden. Dadurch würden alle chronischen Konsumenten dem sogenannten präventiven Selektionsmechanismus unterliegen und deren Fahreignung in Frage gestellt. Deshalb ist der aktuell verwendete Schwellenwert des THC-COOHs von 75 ng/mL zur Bestimmung eines regelmäßigen Konsums sinnvoll, sofern die Bestimmung der Konzentration nach einem Zeitraum von maximal acht Tagen angeordnet wurde. Andernfalls findet bei spontanen Blutentnahmen der Schwellenwert von 150 ng/mL Anwendung [16,112].

Tabelle 3: Aktuell verwendete Grenzwerte zur Beurteilung des Konsummusters anhand der THC-COOH-Konzentration in ng/mL.

Befund	Beurteilung	Zusätzliche Auffälligkeiten	Maßnahmen
THC-COOH < 5,0 ng/ml	Einmaliger und Verdacht auf gelegentlichen Konsum	keine	keine
		Hinreichender Verdacht auf zusätzliche Auffälligkeiten nach Ziffer 9.2.2 der Anlage 4 zu den §§ 11,13 und 14 FeV	Nachuntersuchung (Blutuntersuchung) unter kurzfristiger Einbestellung
		Feststellung zusätzlicher Auffälligkeiten nach Ziffer 9.2.2 der Anlage 4 zu den §§ 11,13 und 14 FeV	Medizinisch-psychologische Untersuchung kann angeordnet werden
THC-COOH < 5,0 ng/ml + THC positiv	gelegentlicher Konsum (mindestens zweimaliger Cannabiskonsum festgestellt)	keine	keine
		Hinreichender Verdacht auf zusätzliche Auffälligkeiten nach Ziffer 9.2.2 der Anlage 4 zu den §§ 11,13 und 14 FeV	Medizinisch-psychologische Untersuchung kann angeordnet werden
		Feststellung zusätzlicher Auffälligkeiten nach Ziffer 9.2.2 der Anlage 4 zu den §§ 11,13 und 14 FeV	Versagung bzw. Entziehung der Fahrerlaubnis
THC-COOH ≥ 5,0 und < 75 ng/ml	erheblicher Konsum (Verdacht auf regelmäßigen Konsum)	keine	Nachuntersuchung (Blutuntersuchung) unter kurzfristiger Einbestellung; ergibt die Nachuntersuchung erneut einen THC-COOH Befund ≥ 5,0 und < 75 ng/ml kann eine medizinisch-psychologische Untersuchung angeordnet werden
		Hinreichender Verdacht auf zusätzliche Auffälligkeiten nach Ziffer 9.2.2 der Anlage 4 zu den §§ 11,13 und 14 FeV	Medizinisch-psychologische Untersuchung kann angeordnet werden
		Feststellung zusätzlicher Auffälligkeiten nach Ziffer 9.2.2 der Anlage 4 zu den §§ 11,13 und 14 FeV	Versagung bzw. Entziehung der Fahrerlaubnis
THC-COOH ≥ 75 ng/ml	es liegt regelmäßiger Konsum von Cannabisprodukten vor	Unerheblich	Versagung bzw. Entziehung der Fahrerlaubnis, Ausnahmen siehe Ziff. 3.12.1 der Begutachtungs-Leitlinien Kraftfahrereignung

Quelle: Daldrup T, 2021

2.11 Auswirkungen auf die Fahrsicherheit und das Unfallrisiko

In der westlichen Welt sind Cannabinoide unter den illegalen Drogen die am häufigsten in Blutproben von Straßenverkehrsteilnehmern entdeckte Substanz, insbesondere bei stark beeinträchtigten Personen oder solchen, die in Verkehrsunfällen verwickelt waren. Dem Projekt „Driving under the Influence of Drugs, Alcohol and Medicines“ (DRUID) zufolge sind an Wochenenden bei etwa 10-12 % aller Straßenverkehrsteilnehmer Cannabinoide in Blutproben enthalten. Bei 26-27 % aller Unfälle wurden bei Straßenverkehrsteilnehmern Cannabinoide im Blut nachgewiesen [88]. Angesichts des gesellschaftlichen Stellenwerts von Cannabis stellt sich die Frage nach der Korrelation zwischen akutem Cannabiseinfluss und dem Unfallrisiko im Straßenverkehr. Eine Metaanalyse basierend auf neun Studien mit beinahe 50.000 Teilnehmern gibt an, dass das Unfallrisiko bei akutem Cannabiseinfluss doppelt so hoch ist wie bei nüchternen Fahrern [7]. Epidemiologische Studien, wie von Gerberich et al. (2003), haben ein erhöhtes Unfallrisiko mit einem Faktor von 1,96 bei Cannabiskonsumenten im Vergleich zu Nicht-Konsumenten festgestellt [28]. Laumon et al. (2005) verglichen in einem Zeitraum von 2001 und 2003 THC-Konzentrationen im Blut von Straßenverkehrsteilnehmern und kamen zu dem Ergebnis, dass das Odds Ratio für die Verursachung eines Unfalls ab einer THC-Konzentration von 1,0 ng/mL THC im Blutserum bei 2,87 und ab 5 ng/mL THC im Blutserum bei 4,72 lag [66]. Ähnliche Ergebnisse wurden von Drummer et al. (2004) berichtet, die THC-Konzentrationen bei 3398 Verkehrstoten in drei australischen Bundesstaaten untersuchten. Das Odds Ratio lag unter der Wirkung von Cannabis bei 2,7 im Vergleich zu nüchternen Probanden. Bei einzelnen Blutproben mit einer THC-Konzentration über 5 ng/mL THC im Blutserum war das Unfallrisiko stark erhöht (OR 6,6) [24]. Li et al. (2012) gaben basierend auf neun Studien, die in sechs Ländern durchgeführt wurden, einen summierten Odds Ratio von 2,66 für das Risiko eines Unfalls mit Verletzung an. Bemerkenswert in der sekundären Metaanalyse von Li et al. (2012) war eine hohe Odds Ratio von 3,03 bei Fahrern bis 25 Jahren [69,98]. Rogeberg et al. (2016) kamen bei einer Metaanalyse zahlreicher Studien auf einen durchschnittlichen Wert von 1,36 [92]. Die Wahrscheinlichkeit für einen Unfall im Straßenverkehr steigt bei akutem Cannabiseinfluss und zunehmender THC-Konzentration stark an und ist im Vergleich zu Personen, die kein Cannabis konsumierten, um das 3- bis 7-fache erhöht [91,106]. Ab einer THC-Konzentration von 5 ng/mL THC im Blutserum liegt das Odds Ratio bei 3,2 und ab einer THC-Konzentration von 10 ng/mL bei 10 [88].

In einer Umfrage aus dem Jahr 2007 wurde bei befragten Fahrern mit Cannabiserfahrung eine Odds Ratio von 1,61 angegeben. Bei Fahrern, die in den letzten 12 Monaten innerhalb einer Stunde nach dem Cannabiskonsum am Straßenverkehr teilnahmen, lag die Odds Ratio sogar bei 3,89 im Vergleich zu nüchternen Fahrern [74]. In einer Fall-Kontroll-Studie mit 4059 verunglückten Straßenverkehrsteilnehmern konnten Martin et al. (2017) ein Odds Ratio von 3,45 bei einer THC-Konzentration von 1 ng/mL im Blut ermitteln. Im Bereich von 3 bis 5 ng/mL THC im Blut ergab sich ein Odds Ratio von 7,4 [76].

Pulido et al. (2011) präsentierten in einer spanischen Umfrage mit knapp 28.000 Teilnehmern die Assoziation eines regelmäßigen Konsums - mehr als viermal wöchentlich - mit einem erhöhten Risiko für Unfallverletzungen (OR 1,6) [89]. In der Studie von Brubacher et al. (2019) in British Columbia, Kanada, wurden toxikologische Befunde von 3005 verletzten Fahrern und 2318 Polizeiberichten analysiert. Dabei konnte festgestellt werden, dass Fahrer mit einer THC-Konzentration unter 5 ng/mL im Blutserum kein erhöhtes Unfallrisiko aufwiesen. Ab einer Konzentration von 5 ng/mL THC im Blutserum wurde zwar ein Odds Ratio von 1,74 berechnet, jedoch sollte beachtet werden, dass dieses Ergebnis auf unzureichender statistischer Signifikanz beruht ($P=0,35$) [8]. Die toxikologische Analyse von 1078 Blutproben verletzter Straßenverkehrsteilnehmer aus Belgien durch Kuypers et al. (2012) zeigte ein erhöhtes tödliches Unfallrisiko ab einer THC-Konzentration von 2 ng/mL im Blutserum. Insbesondere bei Männern lag das Odds Ratio bei 1,39, am Wochenende bei 1,42 und bei Nachtfahrten bei 3,01. Interessanterweise schienen Fahrer mit einer THC-Konzentration über 5 ng/mL im Blutserum seltener tödliche Unfälle zu erleiden als solche mit niedrigeren Konzentrationen [64]. Im Gegensatz dazu kamen Longo et al. (2000) und Terhune et al. (1992) in ihren Studien zu dem Schluss, dass es hinsichtlich der Schuldfähigkeit eines Unfalls keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen Fahrern unter dem Einfluss von Cannabis und nüchternen Fahrern gibt, jedoch das Unfallrisiko direkt proportional zur THC-Konzentration im Blut steigt [71,102].

2.12 Modelle nach Huestis zur Abschätzung des Konsumzeitpunktes

Aufgrund der zunehmenden Verbreitung von Cannabis in der Gesellschaft besteht bei Autofahrten unter Cannabiseinfluss die Gefahr eines deutlichen Anstiegs des Unfallrisikos, was die allgemeine Straßenverkehrssicherheit beeinträchtigen kann. Da die Beeinträchtigungen auf das Fahrverhalten im Straßenverkehr umfangreich untersucht und mittlerweile gut begriffen sind, wünschen sich forensische Toxikologen und rechtsmedizinische Institute genaue Informationen zum Zeitpunkt des Cannabiskonsums, um die kriminologische Frage zu klären, ob bei Zwischenfällen im Straßenverkehr eine durch Drogen induzierte Beeinträchtigung vorliegt [44,51,83].

Aus der Pharmakokinetik ist abzuleiten, dass die Konzentration des THCs kurz vor dem Konsumende sein Maximum erreicht und im Anschluss stetig abnimmt, während die Plasmakonzentration von THC-COOH nach dem Konsum ansteigt und die von THC übertrifft. Basierend auf dieser Beziehung entwickelte Huestis zwei mathematische Modelle, die sich auf die alleinige THC-Plasmakonzentration bzw. das Verhältnis von THC-COOH zu THC konzentrieren. Mit diesen Modellen soll die Zeit nach dem letzten Cannabiskonsum von Probanden abgeschätzt werden [32,46]. Zu jedem Modell wurde zusätzlich ein 95%iger Konfidenzintervall ermittelt. Modell I verwendet für die Auswertung die alleinige THC-Plasmakonzentration und Modell II das Verhältnis der Plasmakonzentrationen von THC-COOH zu THC [48]. Die entsprechenden mathematischen Formeln werden am Ende des Kapitels in Abbildung 6 und 7 dargestellt.

In einer Studie von Huestis wurden bei sechs gelegentlichen Konsumenten Blutproben nach dem Konsum von „Joints“ mit 15,8 mg (1,75 %) und 33,8 mg (3,55 %) THC über einen Zeitraum von 168 Stunden abgenommen und mithilfe der THC-, 11-OH-THC- und THC-COOH-Konzentrationen beide Modelle angewendet. Bei über 90 % der Proben konnte der Konsumzeitpunkt mithilfe beider Modelle innerhalb des Konfidenzintervalls korrekt abgeschätzt werden. Modell I konnte den Konsumzeitpunkt bei gelegentlichen und chronischen Konsumenten zuverlässig vorhersagen, jedoch nicht bei oralem Konsum. Die Anwendung von Modell II war dagegen zuverlässig bei gelegentlichen Konsumenten und bei oralem Konsum, überschätzte aber mehrmals den Konsumzeitpunkt bei chronischen Konsumenten [46,48,80].

In einer weiteren Studie von Huestis et al. konsumierten 38 Probanden eine Zigarette mit knapp 20 mg THC (2,64 %) am Morgen und 30 Probanden eine weitere am Nachmittag. Anschließend wurden Blutproben entnommen und die THC- und THC-COOH-Konzentrationen ermittelt. Nach Anwendung beider Modelle konnte festgestellt werden, dass bei über 90 % der Proben der Konsumzeitpunkt innerhalb des Konfidenzintervalls richtig abgeschätzt werden konnte. 0,9 % der insgesamt 717 Proben wurden überschätzt und keine unterschätzt. Der Konsumzeitpunkt konnte bei 97 % der 289 Proben nach multipler Applikation richtig abgeschätzt werden. Ebenfalls wurde der Konsumzeitpunkt bei allen 76 Proben mit einer niedrigen THC-Konzentration von 0,5 bis 2 ng/mL richtig abgeschätzt [44]. Manno et al. untersuchten bei acht Probanden, die eine Zigarette mit 15,2 mg (1,77 %) und 26,9 mg (3,58 %) THC konsumierten, die THC-, 11-OH-THC- und THC-COOH-Konzentrationen und wendete beide Modelle zur Abschätzung des Konsumzeitpunktes an. Die abgeschätzten Konsumzeitpunkte lagen bei 24 der 25 Proben (96 %) innerhalb des Konfidenzintervalls [75]. Ogden et al. konnten im Jahr 2007 bei zwei Experimenten feststellen, dass die Genauigkeit der Berechnung des Konsumzeitpunktes bei Anwendung von Modell I und bei Kombination beider Modelle erst 60 Minuten nach Konsumende innerhalb des Konfidenzintervalls lag [83]. Zehn Probanden bekamen für acht Tage THC-Dosen von 40-120 mg, die oral konsumiert wurden. Blutproben für die Bestimmung der Cannabinoid-Konzentrationen im Plasma wurden abgenommen. Anschließend wurden beide Modelle für die Abschätzung des Konsumzeitpunktes angewendet. Karschner et al. konnten hier im Jahr 2012 beobachten, dass die Genauigkeit der Berechnung des Konsumzeitpunktes 0,5 Stunden nach dem Konsum bei 10 % lag und in einem Zeitraum von 1-5 Stunden nach dem Konsum auf 98,8 % anstieg. 2,5 Stunden nach dem Konsum war die Genauigkeit bei 100 %. Die Zuverlässigkeit sank bei längerer Abstinenzzeit rapide ab. 22,5 Stunden nach dem letzten Konsum betrug die Genauigkeit nur noch 20 % [56]. Bei einer Studie von Toennes et al. im Jahr 2020 wurden die „Huestis-Formeln“ auf ihre Zuverlässigkeit überprüft. Es konnte festgestellt werden, dass Modell I für chronische Konsumenten eine geringe Zuverlässigkeit gezeigt hat. 46,1 % der Werte von chronischen Konsumenten lagen außerhalb des geschätzten Bereiches. Bei Modell II waren das lediglich 18,2 %. Bei Kombination beider Modelle ergab sich unabhängig vom Konsummuster eine hohe Zuverlässigkeit. 5,6 % der Konsumzeitpunkte bei Gelegenheitskonsumenten und 6,4 % der Konsumzeitpunkte bei chronischen Konsumenten lagen außerhalb des Schätzbereiches [103].

Insgesamt wurde der Konsumzeitpunkt bei 94,1 % der Proben in einem Fenster von 0,25 bis 8 Stunden richtig abgeschätzt. Nach acht Stunden lagen schon 22,7 % der Schätzungen außerhalb des Schätzbereiches. Auch bei chronischen Konsumenten konnten keine verlässlichen Ergebnisse ermittelt werden, sofern der letzte Konsumzeitpunkt länger als acht Stunden zurücklag [103].

Modell I:

$$\log T = -0,698 \times \log [\text{THC}] + 0,687$$

$$CI = \log T \pm 1,975 \times \sqrt{0,030 \times (1,006 + \left[\frac{(\log[\text{THC}] - 0,996)^2}{89,937} \right])}$$

Abbildung 6: Modell I und dessen Konfidenzintervall nach Huestis (Huestis MA et al., 1992).

Quelle: Freisleben SK, 2011

Modell II:

$$\log T = 0,576 \times \log[\text{THC} - \text{COOH}]/[\text{THC}] - 0,176$$

$$CI = \log T \pm 1,975 \times \sqrt{0,045 \times (1,006 + \left[\frac{(\log \frac{[\text{THC} - \text{COOH}]}{[\text{THC}]} - 0,283)^2}{123,420} \right])}$$

Abbildung 7: Modell II und dessen Konfidenzintervall nach Huestis (Huestis MA et al., 1992).

Quelle: Freisleben SK, 2011

2.13 Fragestellung und Ziel der Arbeit

In dieser Arbeit werden Daten von Cannabis-positiven Fällen im Straßenverkehr aus den Jahren 2019 und 2020 ausgewertet. Hierdurch sollen soziodemographische Informationen über die Personen erlangt werden, die unter dem Einfluss von Cannabis am Straßenverkehr teilgenommen haben. Ein spezieller Fokus wird auf deren Konsumverhalten und den Zeitpunkt des Konsums im Verhältnis zur Teilnahme am Straßenverkehr gelegt. Des Weiteren soll untersucht werden, wie sich eine Erhöhung des empfohlenen Grenzwertes auf die Positivrate im Einzugsgebiet von Aachen und Köln auswirken könnte. Eine Analyse hinsichtlich einer möglichen Korrelation zwischen THC-Konzentrationen und der Schwere der begangenen Delikte soll die potenziellen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit bei einer entsprechenden Grenzwertanhebung skizzieren.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen dazu dienen, das Kollektiv der Cannabiskonsumenten, deren Konsumverhalten und die Cannabinoidkonzentrationen im Blut detailliert zu charakterisieren. Darüber hinaus können diese Daten prospektiv als Basis dafür herangezogen werden, ein verändertes Konsumverhalten und einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit durch eine Anhebung des Grenzwertes und/oder einer Legalisierung von Cannabis objektiv beurteilen zu können.

3. Material und Methode

3.1 Literaturrecherche

Eine systematische Literaturrecherche wurde durchgeführt, um Erkenntnisse zur Pharmakodynamik, Pharmakokinetik, Verbreitung, Konsummuster, Konsumprävalenz, dem Unfallrisiko von Fahrern bei unterschiedlichen THC-Konzentrationen im Blut und pharmakokinetischen Modellen zur Abschätzung des Konsumzeitpunktes zu erhalten. Dies erfolgte unter Verwendung relevanter Suchbegriffe in Datenbanken wie PubMed, Google Scholar und in diversen Fachbüchern.

3.2 Datenerfassung

Für den Zeitraum 01/2019 bis 12/2020 wurden Daten zu Fällen im Straßenverkehr, bei denen ein positives Ergebnis für Cannabinoide vorlag, aus dem toxikologischen Labor des Instituts für Rechtsmedizin der Universitätsklinik Köln bezogen. Die Daten - Labornummer, Name, Vorname, Geburtsdatum, Geschlecht, Ergebnisse für die Analyten THC, THC-OH und THC-COOH, Blutentnahmezeitpunkt und Vorfallszeitpunkt, Deliktart, einsendende Polizeidienststelle/Behörde - wurden aus dem Laborinformationssystem (WinLims, Firma QSI) in eine Excel-Tabelle übertragen (Microsoft Excel 2016, Microsoft). Angegebene Zeitpunkte des Konsums wurden im Nachgang mithilfe von Polizeiprotokollen und/oder ärztlichen Berichten aus dem Programm WinLIMS.NET ermittelt und in der Exceltabelle eingefügt.

3.3 Auswertung der Cannabiskonsumfälle

Im ersten Schritt wurde die Gesamtanzahl der Cannabiskonsumfälle für die Jahre 2019 und 2020 separat anhand ihrer Deliktart sortiert. Falls diese nicht bereits im Laborinformationssystem hinterlegt waren, wurde sie nachträglich mithilfe der dazugehörigen Auftragsnummern und Polizeiprotokolle aus dem internen Programm WinLIMS.NET ermittelt.

Zu differenzieren waren Ordnungswidrigkeiten nach § 24a, Straßenverkehrsdelikt nach § 315c/ § 316 und Fälle, die keinen Bezug zum Straßenverkehr hatten. Dazu gehören sexuelle Übergriffe, Totschlag, Übergriffe oder Widerstand gegen Vollstreckungsbeamte, Raub und Sachbeschädigungen.

Nach der Differenzierung wurden diejenigen Fälle mit einer Deliktart, die keinen Zusammenhang zum Straßenverkehr besaßen, ausgesondert. In einem zweiten Schritt wurden in Excel für beide Jahre Tabellen und Diagramme für die Auswertung erstellt. Dabei wurden die Fälle nach der Deliktart, § 315c/§ 316, § 24a und Unbekannt sortiert. Die „unbekannten“ Fälle werden zur Ergebnisdarstellung abgebildet, jedoch im Text nicht zwingend erwähnt. Des Weiteren wurden acht THC-Wertebereiche (0 ng/mL; 0,1-0,9 ng/mL; 1-1,9 ng/mL; 2-2,9 ng/mL; 3-4,9 ng/mL; 5-9,9 ng/mL; 10-19,9 ng/mL und ab 20 ng/mL THC im Blutserum) erstellt.

Hierbei wurde in Fällen, in denen ein Analyt nicht nachweisbar war, als Ergebnis „0“ eingetragen, damit eine Analyse stattfinden kann. Für die Gesamtanzahl der Fälle wurden Mittel- und Medianwerte von THC berechnet sowie Variablen, wie Geschlecht, Alter und Deliktart, zur weiteren Auswertung miteingeschlossen. Für eine geographische Übersicht wurden die Fälle nach einsendender Behörde dargestellt.

Die Cannabiskonsumfälle wurden nach dem aktuellen Grenzwert von 1,0 ng/mL THC im Blutserum in Anlehnung zum § 24a gegliedert. Anschließend wurden diese nach den THC-Werten 3,0 ng/mL und 10 ng/mL eingeteilt. Das Konsummuster der Probanden wurde mithilfe des THC-COOH-Grenzwertes von 150 ng/mL bestimmt und nach chronischen und gelegentlichen Konsumenten sortiert. Für die gesamte Auswertung wurden demographische Parameter, wie Alter und Geschlecht, und Deliktart für die Differenzierung berücksichtigt.

3.4 Berechnungsmodelle nach Huestis

In der Exceltabelle wurde das Verhältnis von THC-COOH zu THC berechnet und eingefügt, welches für die Berechnungsmodelle nach Huestis notwendig ist. Schließlich wurden mithilfe von Microsoft Excel 2016 die Modelle I, II und eine Kombination beider Modelle nach Huestis programmiert und diese an den Cannabiskonsumfällen für die Jahre 2019 und 2020 angewendet [44]. Für die Modelle I und II wurden die unten dargestellten Formeln (Abbildung 6 und 7) angewendet.

Für die Kombination beider Modelle wurden jeweils der kleinere Wert der unteren Grenze des Konfidenzintervalls und der größere Wert der oberen Grenze des Konfidenzintervalls beider Modelle als finaler Konfidenzintervall verwendet. Dafür wurden die Konsumangaben in fünf Bereiche aufgeteilt (0-1 h; 2-4 h; 5-8 h; 9-24 h; >24 h). Da in den Studien von Toennes et al. die Zuverlässigkeit bei Konsumzeitpunkten, die länger als acht Stunden zurücklagen, stark abnahm, wurden für eine bessere Übersicht nur Angaben der Konsumzeitpunkte kleiner als 9 Stunden in den Berechnungen berücksichtigt [103]. Für die Überprüfung der Zuverlässigkeit der Modelle wurden die Differenzen zwischen Konsumangaben und Modellergebnissen in Stunden berechnet.

Modell I:

$$\log T = -0,698 \times \log [\text{THC}] + 0,687$$

$$CI = \log T \pm 1,975 \times \sqrt{0,030 \times (1,006 + \left[\frac{(\log[\text{THC}] - 0,996)^2}{89,937} \right])}$$

Abbildung 6: Modell I und dessen Konfidenzintervall nach Huestis (Huestis MA et al., 1992).

Quelle: Freisleben SK, 2011

Modell II:

$$\log T = 0,576 \times \log[\text{THC} - \text{COOH}]/[\text{THC}] - 0,176$$

$$CI = \log T \pm 1,975 \times \sqrt{0,045 \times (1,006 + \left[\frac{(\log \frac{[\text{THC} - \text{COOH}]}{[\text{THC}]} - 0,283)^2}{123,420} \right])}$$

Abbildung 7: Modell II und dessen Konfidenzintervall nach Huestis (Huestis MA et al., 1992).

Quelle: Freisleben SK, 2011

4. Ergebnisse

Im Rahmen einer umfangreichen Literaturrecherche wurde untersucht, wie sich Cannabis in Bezug auf Pharmakodynamik und Pharmakokinetik im menschlichen Organismus auswirkt, wobei Aspekte wie Absorption, Distribution, Metabolisierung und Elimination berücksichtigt wurden. Gleichzeitig wurden Informationen über Verbreitung, Konsummuster und Konsumprävalenz von Cannabis gesammelt, da diese für die Analyse der vorliegenden Daten von Bedeutung sind. Aufgrund der speziellen rechtlichen Lage von Cannabis im Straßenverkehr wurde der aktuelle Stand und die Sinnhaftigkeit des Grenzwertes für Ordnungswidrigkeiten sowie mögliche alternative Grenzwerte, die aktuell bei einer Anhebung in Frage kommen, recherchiert. Zu diesem Zweck wurden wissenschaftliche Studien und Fachartikel herangezogen, die sich mit dem Unfallrisiko von Fahrern bei unterschiedlichen THC-Werten auseinandersetzten. Abschließend erfolgte eine Untersuchung im Hinblick auf die Beurteilung des Konsumzeitpunktes bei Cannabisfällen unter Anwendung der Modelle von Huestis sowie der Zuverlässigkeit dieser Formeln.

4.1 Fälle mit Cannabis im Straßenverkehr

Für die Bearbeitung und Analyse der Datensätze wurden die Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 und 2020 vorerst nach Deliktarten überprüft und kategorisiert. Hierbei erfolgte eine Differenzierung zwischen Ordnungswidrigkeiten gemäß § 24a, Straßenverkehrsdelikten gemäß § 315c/§ 316 sowie Fällen ohne Bezug zum Straßenverkehr. Letztere umfassten sexuelle Übergriffe, Totschlag, Übergriffe oder Widerstand gegen Vollstreckungsbeamte, Raub und Sachbeschädigungen. Im Jahr 2019 ergaben sich aus insgesamt 3390 Fällen 871 Straßenverkehrsdelikte, 2118 Ordnungswidrigkeiten, 18 nicht zuordenbare Fälle und 383 Fälle ohne Bezug zum Straßenverkehr. Letztere wurden aus dem Datensatz entfernt, was zu einer finalen Anzahl von 3007 Cannabiskonsumfällen für das Jahr 2019 führte.

Dieses Vorgehen wurde im Jahr 2020 gleichermaßen angewendet. Von den 3362 Fällen entfielen 909 auf Straßenverkehrsdelikte, 2089 auf Ordnungswidrigkeiten, 13 waren nicht zuordenbar und 351 wurden aufgrund fehlenden Bezugs zum Straßenverkehr aussortiert. Die abschließende Anzahl der Cannabiskonsumfälle für das Jahr 2020 betrug somit 3011.

4.2 Demographische Daten

4.2.1 Alter und Geschlecht

Die geschlechtliche Verteilung der Cannabiskonsumfälle wird in den Abbildungen 8 und 9 veranschaulicht. Im Jahr 2019 entfielen ca. 93,5 % (N=2813) der Fälle auf Männer und ca. 6,5 % (N=194) auf Frauen. Im Jahr 2020 waren ca. 93,9 % (N=2826) aller positiven Cannabistests im Straßenverkehr bei Männern zu verzeichnen, während der Anteil bei Frauen ca. 6,1 % (N=185) betrug.

Der Altersmittelwert aller Fälle im Jahr 2019 lag bei etwa 30 Jahren, wobei die Altersspanne von 13 bis 67 Jahren reichte. Unter den 2813 männlichen Fällen betrug der Altersmittelwert ebenfalls etwa 30 Jahre. Der jüngste Beschuldigte bzw. Betroffener war 13 Jahre alt, während der älteste 67 Jahre alt war. Bei den 194 weiblichen Fällen lag der Altersmittelwert bei etwa 31 Jahren, mit einer Altersspanne von 16 bis 63 Jahren.

Im Jahr 2020 betrug der Altersmittelwert aller Fälle etwa 30 Jahre und die Altersspanne erstreckte sich von 14 bis 64 Jahren. Bei den 2826 männlichen Fällen betrug der Altersmittelwert etwa 30 Jahre, mit einer Spanne von 14 bis 64 Jahren. Bei den 185 weiblichen Fällen ergab sich ein Altersmittelwert von etwa 32 Jahren und die Altersspanne reichte von 18 bis 59 Jahren.

Die Betrachtung der Fallverteilung im Jahr 2019 nach Alter und Geschlecht zeigt, dass sowohl bei Männern als auch bei Frauen die größte Gruppe im Alter von 20 bis 30 Jahren vertreten war. Von den 2813 männlichen Fällen waren etwa 44,2 % (N=1244) im Alter zwischen 20 und 30 Jahren. Bei den 194 weiblichen Fällen entfielen 37,1 % (N=72) auf die Altersgruppe von 20 bis 30 Jahren. Der geringste Anteil wurde bei Probanden ab 50 Jahren festgestellt, wobei dies 3,0 % (N=85) der Männer und 4,1 % (N=8) der Frauen betraf (Abbildung 10).

Im Jahr 2020 stellten Frauen (3,8 %, N=7), die jünger als 20 Jahre waren, und Männer (4,1 %, N=116) ab 50 Jahren den geringsten Anteil dar. Ähnlich wie im Vorjahr bildeten die 20- bis 30-Jährigen den größten Anteil und zwar 44,0 % (N=1244) bei den Männern und 46,5 % (N=86) bei den Frauen. In beiden Jahren war zu erkennen, dass der Anteil unabhängig vom Geschlecht ab dem 30. Lebensjahr abnahm (Abbildung 11).

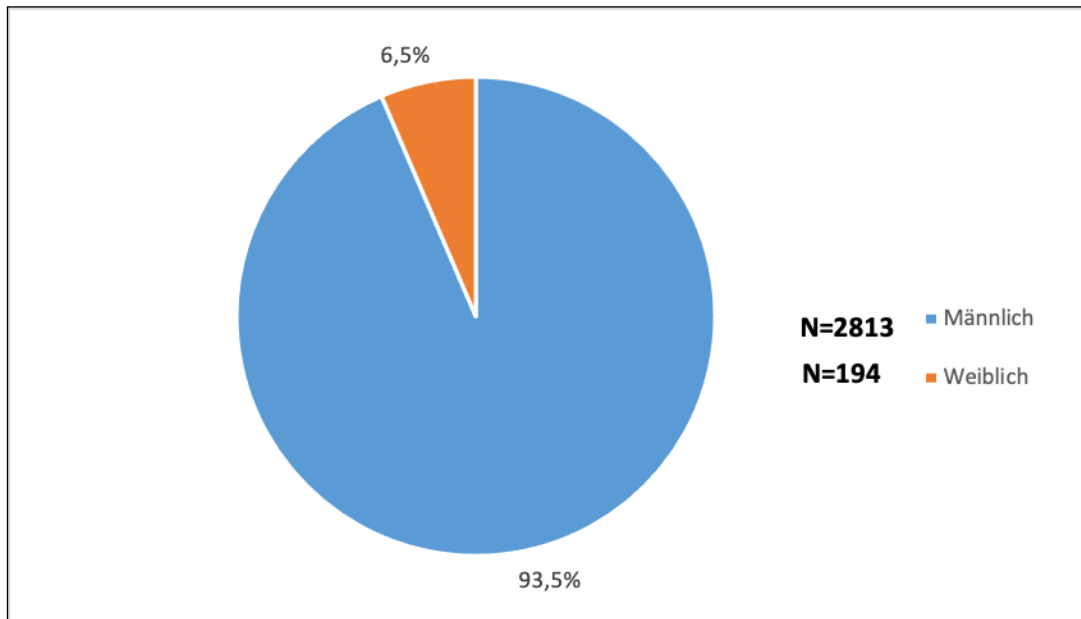


Abbildung 8: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach Geschlecht.

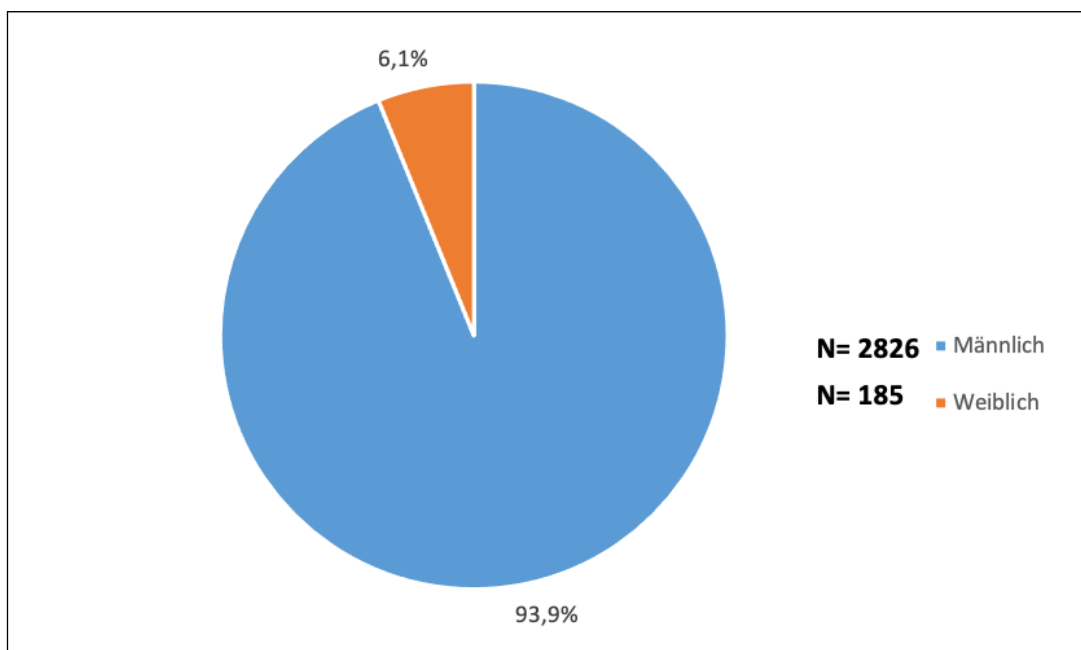


Abbildung 9: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach Geschlecht.

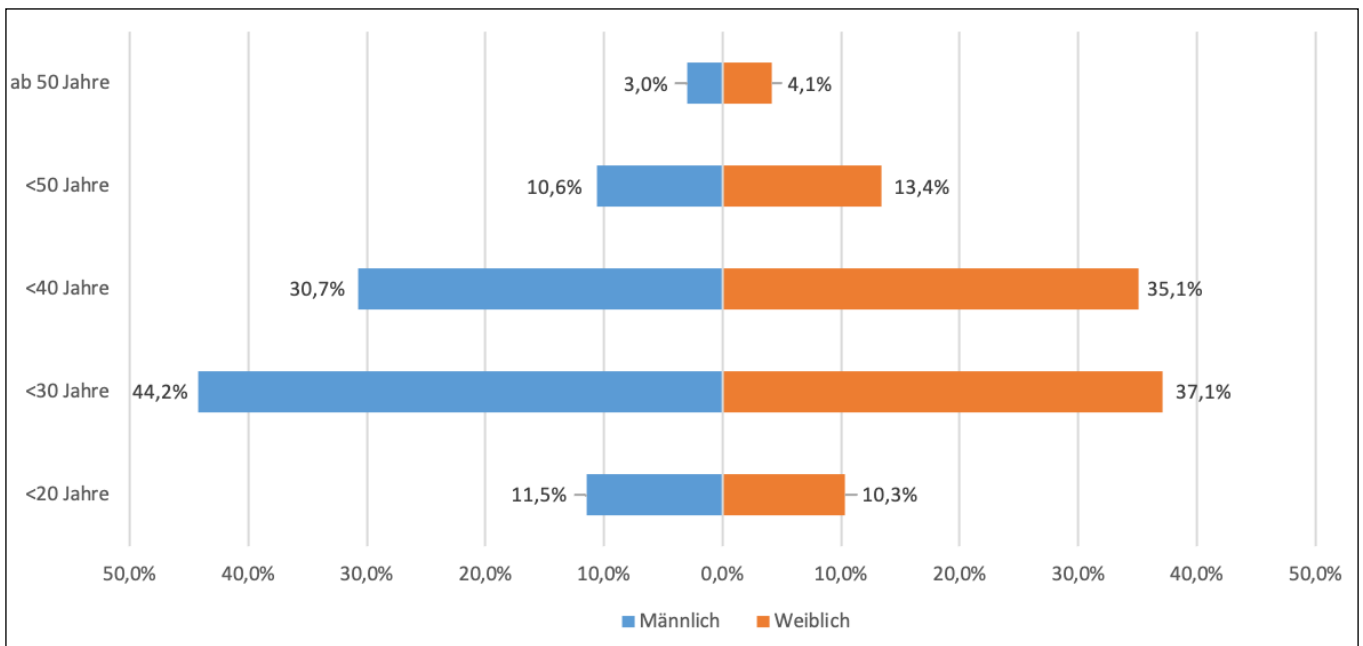


Abbildung 10: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach Alter und Geschlecht mithilfe einer Alterspyramide.

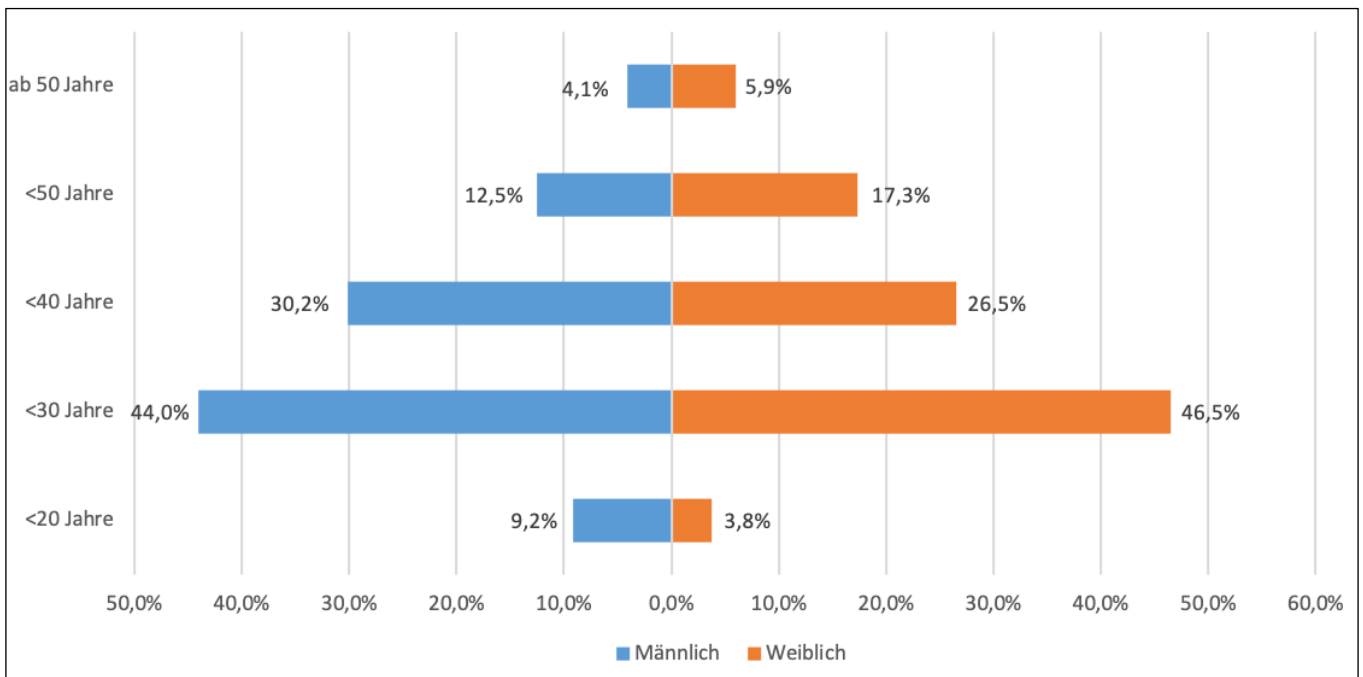


Abbildung 11: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach Alter und Geschlecht mithilfe einer Alterspyramide.

4.2.2 Geographische Auswertung

Die geographische Analyse der Cannabiskonsumfälle aus den Jahren 2019 und 2020 erfolgte durch die Sortierung nach einsendenden Behörden (Abbildungen 12 und 13). Dabei wurden THC-positive Straßenverkehrsteilnehmer in den Regionen Düren, Heinsberg, Oberbergischer Kreis, Rhein-Bergischer Kreis, Rhein-Erft Kreis, Aachen und Köln identifiziert.

Im Jahr 2019 stellte Köln mit 32,8 % (N=987) aller Proben den höchsten Anteil, gefolgt vom Rhein-Erft Kreis mit 18,4 % (N=554).

Ein ähnliches Bild zeichnete sich im Jahr 2020 ab, wobei 30,8 % (N=927) der Proben aus dem Kreis Köln stammten, gefolgt vom Rhein-Erft Kreis mit 18,5 % (N=558).

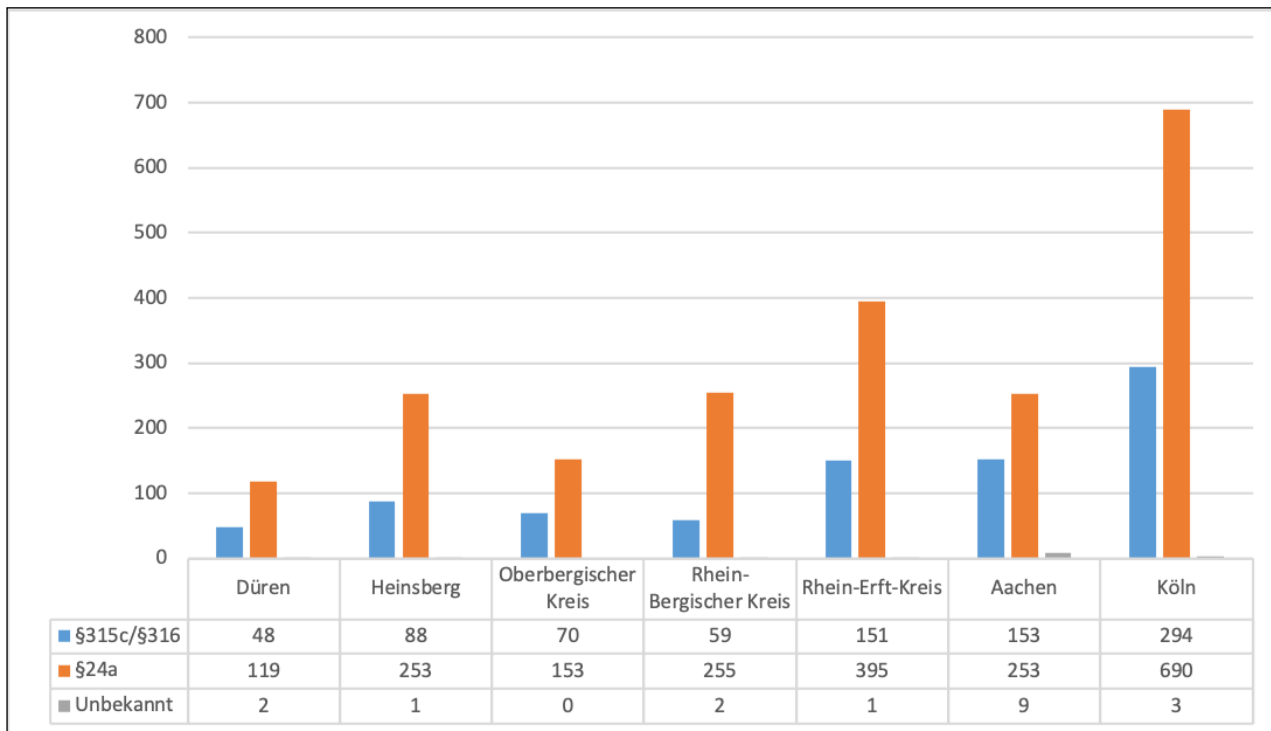


Abbildung 12: Anzahl der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach einsendenden Behörden.

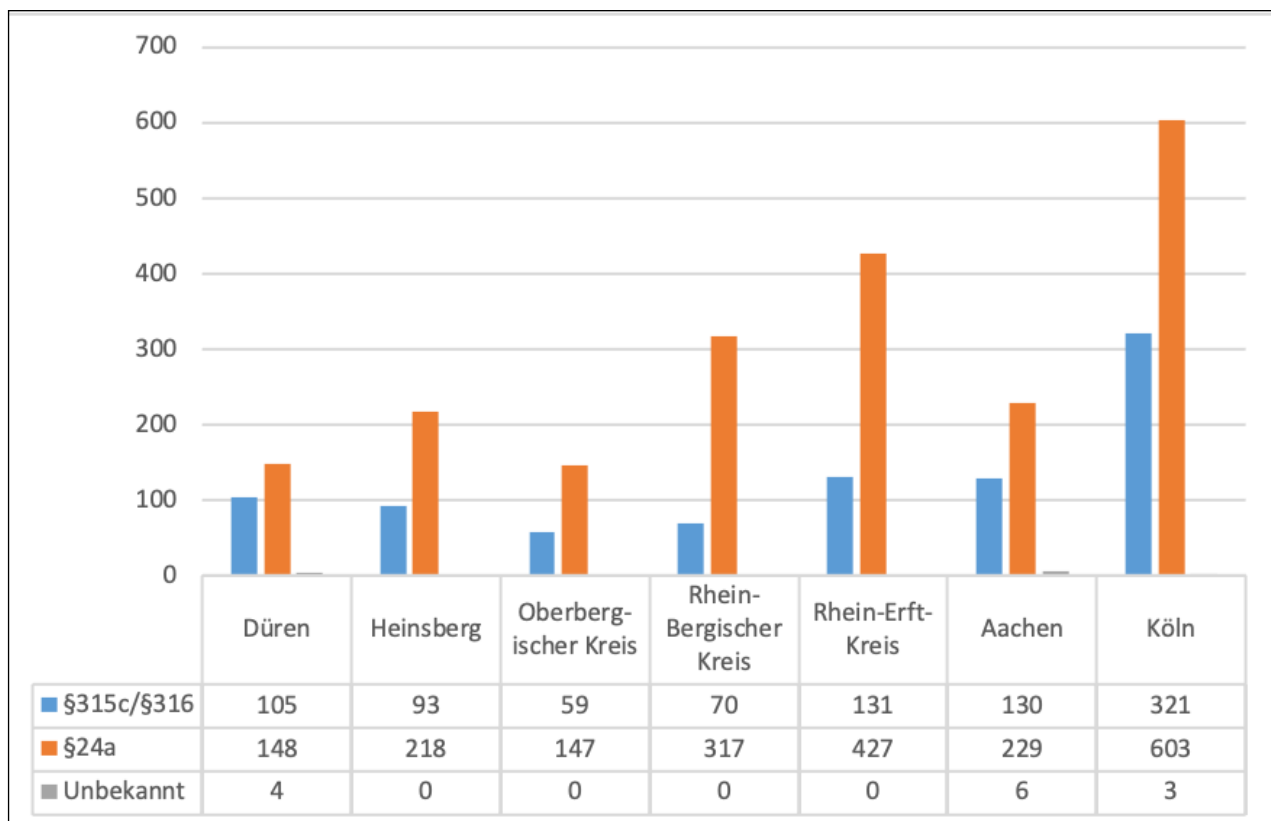


Abbildung 13: Anzahl der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach einsendenden Behörden.

4.3 Angaben zu den Konzentrationen der Cannabinoide

4.3.1 Häufigkeiten der THC- und THC-COOH-Konzentrationen

Die Cannabiskonsumfälle wurden nach THC- (Abbildung 14 und 15) sowie THC-COOH-Bereichen (Abbildung 16 und 17) kategorisiert. Im Jahr 2019 wurden 617 Fälle (20,5 %) in den THC-Wertebereich von 5-9,9 ng/mL eingestuft, während nur 53 Fälle (1,8 %) keinen nachweisbaren THC-Gehalt im Blut aufwiesen.

Ähnliche Ergebnisse zeichneten sich im Jahr 2020 ab, wobei der THC-Wertebereich von 5-9,9 ng/mL mit 533 Fällen (17,7 %) den größten Anteil ausmachte und Probanden ohne nachweisbares THC im Blut den geringsten Anteil mit 90 Fällen (3,0 %) bildeten.

Im Jahr 2019 wurde THC-COOH bei 1606 Fällen (53,4 %) im Bereich von 5-74,9 ng/mL und bei 1294 Fällen (43,0 %) im Bereich ab 75 ng/mL positiv getestet. 107 Fälle (3,6 %) hatten eine THC-COOH-Konzentration unter 5 ng/mL.

Im Jahr 2020 befanden sich 1495 Fälle (49,7 %) im THC-COOH-Bereich von 5-74,9 ng/mL, während 1422 Fälle (47,2 %) in einem Bereich ab 75 ng/mL THC-COOH erfasst wurden. Die restlichen 94 Fälle (3,1 %) hatten eine THC-COOH-Konzentration unter 5 ng/mL.

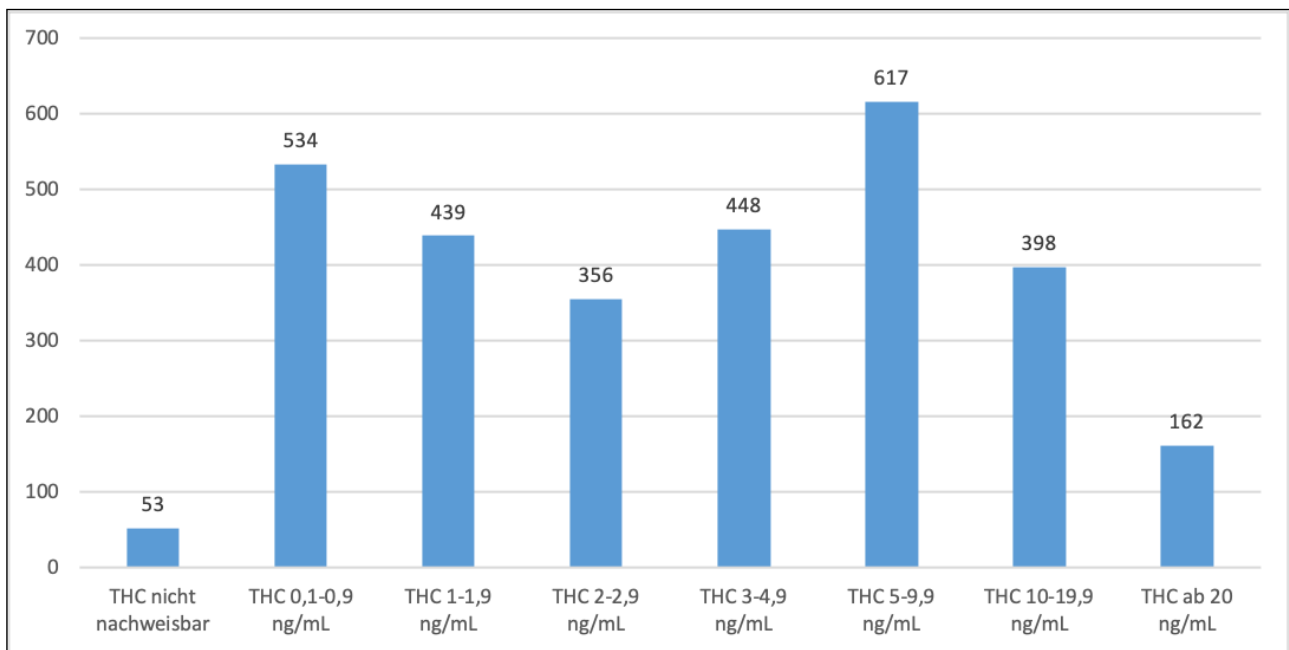


Abbildung 14: Absolute Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 in THC-Wertebereiche.

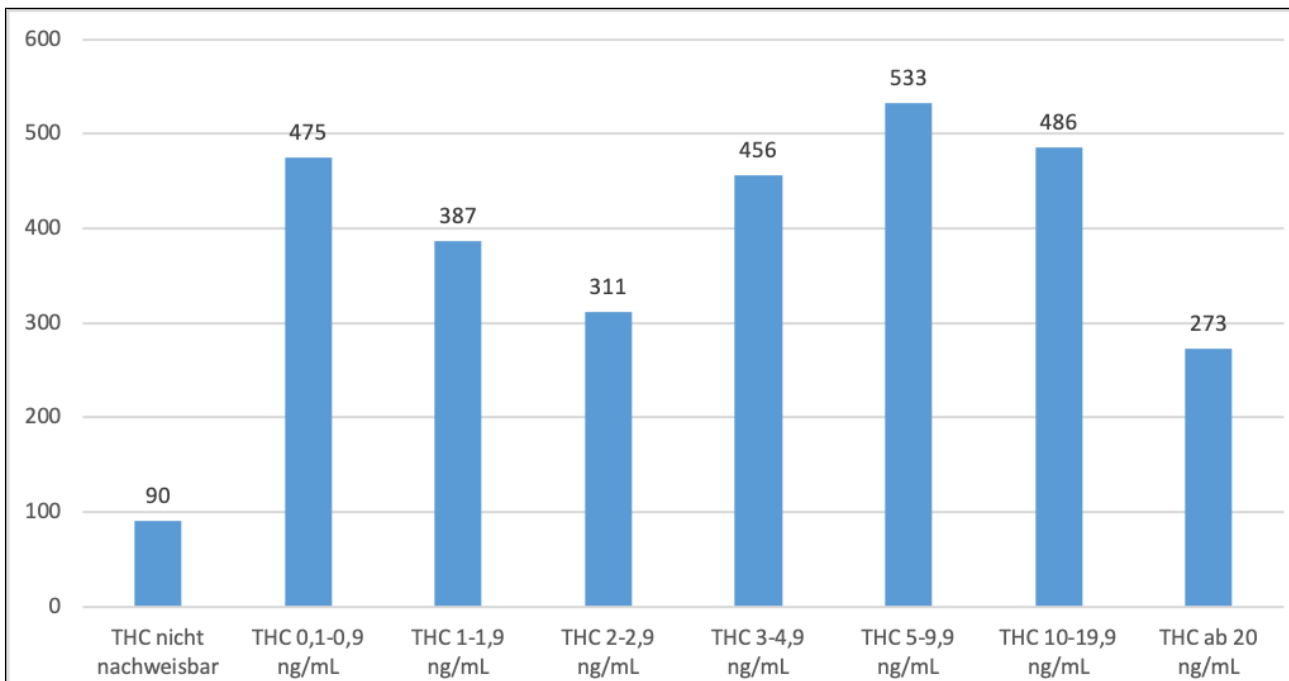


Abbildung 15: Absolute Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 in THC-Wertebereiche.

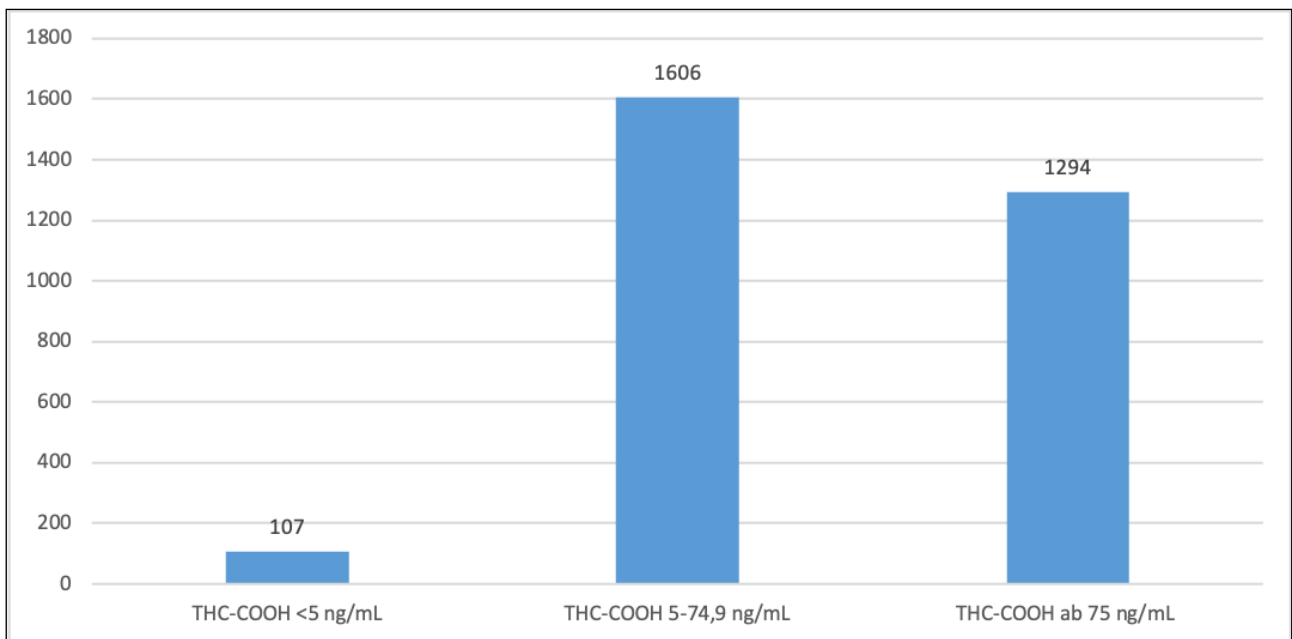


Abbildung 16: Absolute Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 in THC-COOH-Wertebereiche.

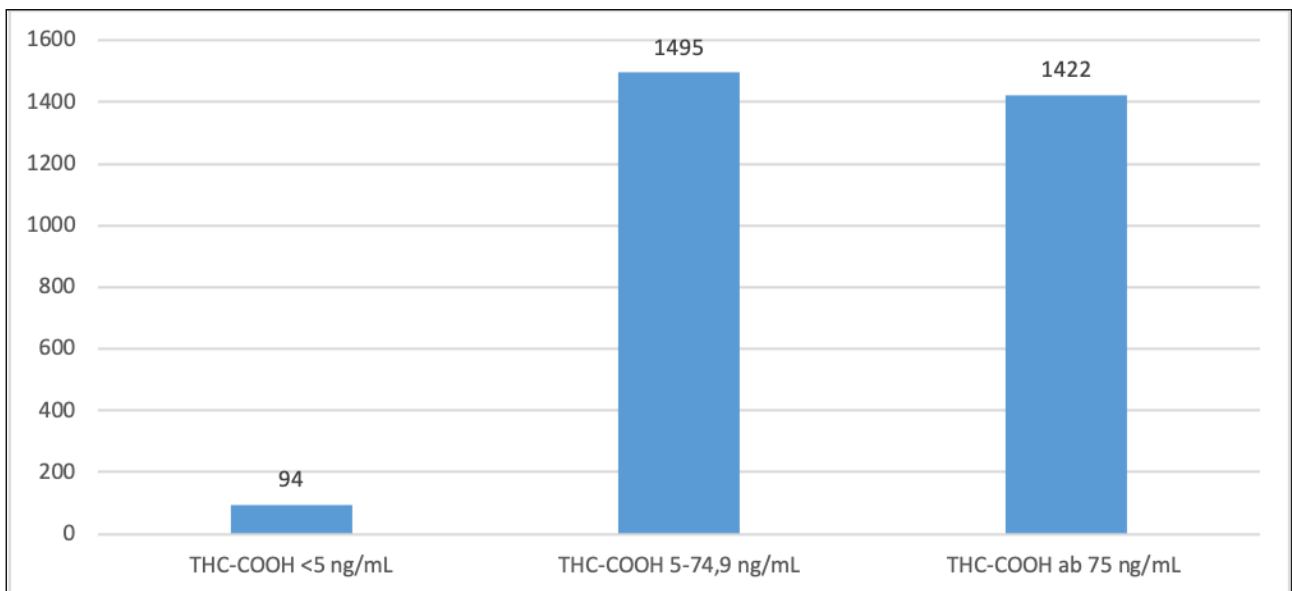


Abbildung 17: Absolute Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 in THC-COOH-Wertebereiche.

4.3.2 Mittel-, Medianwerte und Spanne der Cannabinoidkonzentrationen

Die Analyse der Cannabiskonsumfälle umfasste zusätzlich die Berechnung von Mittel-, Medianwerte und Spannen in ng/mL, wie in den Tabellen 4-7 dargestellt. Im Jahr 2019 betrug der Gesamtdurchschnitt für alle Fälle 6,1 ng/mL THC, 2,7 ng/mL THC-OH, 87,7 ng/mL THC-COOH und ein THC-COOH/THC-Verhältnis von 20,9. Männliche Probanden wiesen bei den meisten Cannabinoiden leicht über dem Gesamtdurchschnitt liegende Durchschnittswerte auf (THC: 6,1 ng/mL; THC-OH: 2,8 ng/mL; THC-COOH: 88,5 ng/mL; THC-COOH/THC: 20,8). Im Gegensatz dazu lagen die Durchschnittswerte für Frauen, ausgenommen das Verhältnis von THC-COOH zu THC, unter dem Gesamtdurchschnitt (THC: 5,1 ng/mL; THC-OH: 2,2 ng/mL; THC-COOH: 76,9 ng/mL; THC-COOH/THC: 22,5). Unter Berücksichtigung der Deliktarten zeigten sich Unterschiede. Bei Straßenverkehrsdelikten nach § 315c/§ 316 lagen die Mittelwerte von THC (5,6 ng/mL) und THC-OH (2,7 ng/mL) unter dem Gesamtdurchschnitt, während der Mittelwert von THC-COOH (92,0 ng/mL) darüber lag. Bei Ordnungswidrigkeiten war das Bild umgekehrt, mit einem leicht über dem Gesamtdurchschnitt liegenden THC-Mittelwert (6,2 ng/mL) und einem unter dem Gesamtdurchschnitt liegenden THC-COOH-Mittelwert (85,9 ng/mL). Der Median für alle Fälle lag bei 3,5 ng/mL THC, 1,5 ng/mL THC-OH und 62 ng/mL THC-COOH. Männliche Probanden hatten, abgesehen vom THC-COOH/THC-Verhältnis, genau diese Werte. Bei Frauen lagen die Medianwerte leicht darunter (THC: 3 ng/mL; THC-OH: 1,2 ng/mL; THC-COOH: 56 ng/mL). Der Median der Deliktarten hatte annähernd ähnliche Werte, unterschieden sich beim THC (3,3 ng/mL bei § 315c/§ 316 und 3,6 ng/mL bei § 24a) und THC-COOH (65 ng/mL bei § 315c/§ 316 und 60 ng/mL bei § 24a) geringfügig. Die Spannweite der Cannabiskonsumfälle reichte mit Minimalwerten von 0 ng/mL (THC), 0 ng/mL (THC-OH) und 1,6 ng/mL (THC-COOH) bis zu Maximalwerten von 104 ng/mL (THC), 65 ng/mL (THC-OH) und 703 ng/mL (THC-COOH). Alle Maximalwerte wurden bei Männern gemessen, während Frauen Maximalwerte von 57 ng/mL (THC), 17 ng/mL (THC-OH) und 390 ng/mL (THC-COOH) aufwiesen. Die Maximalwerte bei den Straßenverkehrsdelikten betragen 104 ng/mL (THC), 56 ng/mL (THC-OH) und 703 ng/mL (THC-COOH). Die Maxima der Ordnungswidrigkeiten lagen bei 83 ng/mL (THC), 57 ng/mL (THC-OH) und 678 ng/mL (THC-COOH).

Im Jahr 2020 lagen die Durchschnittswerte für THC, THC-OH, THC-COOH und das Verhältnis von THC-COOH zu THC bei 7,3 ng/mL; 3,0 ng/mL; 97,5 ng/mL und 21,0. Die Durchschnittswerte der Männer lagen leicht über dem Gesamtdurchschnitt, während die Werte der Frauen, abgesehen von THC (7,4 ng/mL), leicht darunter lagen. Bei Straßenverkehrsdelikten lagen die Durchschnittswerte für THC, THC-OH und THC-COOH unter dem Gesamtdurchschnitt, während sie bei Ordnungswidrigkeiten darüber lagen. Die Medianwerte betragen 3,9 ng/mL THC, 1,5 ng/mL THC-OH und 69 ng/mL THC-COOH. Männliche Probanden hatten exakt diese Werte, während Frauen leicht darüber lagen (THC: 4,2 ng/mL; THC-OH: 1,6 ng/mL). Die Medianwerte für Straßenverkehrsdelikte lagen unter dem Gesamtdurchschnitt, während sie bei Ordnungswidrigkeiten darüber lagen. Die Spannweite betrug 0-107 ng/mL (THC), 0-53 ng/mL (THC-OH) und 1-1466 ng/mL (THC-COOH).

Wie im Vorjahr wurden die Maximalwerte bei Männern gemessen, während Frauen Maximalwerte von 70 ng/mL (THC), 21 ng/mL (THC-OH) und 423 ng/mL (THC-COOH) erreichten. Im Unterschied zum Vorjahr wurden die Maximalwerte bei einem Betroffenen gemessen, der eine Ordnungswidrigkeit nach § 24a beging. Hier betragen die Werte 107 ng/mL (THC), 53 ng/mL (THC-OH) und 1466 ng/mL (THC-COOH). Die Maximalwerte bei den Straßenverkehrsdelikten nach § 315c/§ 316 lagen bei 90 ng/mL (THC), 31 ng/mL (THC-OH) und 774 ng/mL (THC-COOH).

Tabelle 4: Mittelwerte der Cannabinoidkonzentrationen 2019.

Messgrößen	Cannabinoidkonzentrationen			
	THC	THC-OH	THC-COOH	THC-COOH/ THC
Mittelwerte Gesamt	6,1	2,7	87,7	20,9
Mittelwerte Männlich	6,1	2,8	88,5	20,8
Mittelwerte Weiblich	5,1	2,2	76,9	22,5
Mittelwerte § 315c/§ 316	5,6	2,7	92,0	22,3
Mittelwerte § 24a	6,2	2,7	85,9	20,3

Werte in ng/mL

Tabelle 5: Spanne und Median der Cannabinoidkonzentrationen 2019.

Messgrößen	Cannabinoidkonzentrationen		
	THC	THC-OH	THC-COOH
Spanne Gesamt	0-104	0-65	1,6-703
Spanne Männlich	0-104	0-65	1,6-703
Spanne Weiblich	0-57	0-17	1,6-390
Spanne § 315c/ §316	0-104	0-56	1,6-703
Spanne § 24a	0-83	0-57	1,6-678
Median Gesamt	3,5	1,5	62
Median Männlich	3,5	1,5	61
Median Weiblich	3	1,2	56
Median § 315c/§ 316	3,3	1,6	65
Median § 24a	3,6	1,5	59,5

Werte in ng/mL

Tabelle 6: Mittelwerte der Cannabinoidkonzentrationen 2020.

Messgrößen	Cannabinoidkonzentrationen			
	THC	THC-OH	THC-COOH	THC-COOH/ THC
Mittelwerte Gesamt	7,3	3,0	97,5	21,0
Mittelwerte Männlich	7,3	3,0	97,9	21,1
Mittelwerte Weiblich	7,4	2,9	92,3	19,4
Mittelwerte § 315c/§ 316	6,5	2,7	91,9	22,4
Mittelwerte § 24a	7,7	3,1	100,1	20,4

*Werte in ng/mL***Tabelle 7:** Spanne und Median der Cannabinoidkonzentrationen 2020.

Messgrößen	Cannabinoidkonzentrationen		
	THC	THC-OH	THC-COOH
Spanne Gesamt	0-107	0-53	1-1466
Spanne Männlich	0-107	0-53	1-1466
Spanne Weiblich	0-70	0-21	1-423
Spanne § 315c/§ 316	0-90	0-31	1,1-774
Spanne § 24a	0-107	0-53	1-1466
Median Gesamt	3,9	1,5	69
Median Männlich	3,9	1,5	69
Median Weiblich	4,2	1,6	65
Median § 315c/§ 316	3,4	1,4	62
Median § 24a	4,3	1,6	72

Werte in ng/mL

4.4 Deliktarten

In Bezug auf die Deliktarten dominierte im Jahr 2019 die Ordnungswidrigkeit mit 70,4 % (N=2118) aller Fälle (Abbildung 18). Unter den Betroffenen, die eine Ordnungswidrigkeit nach § 24a begingen, waren 66,0 % (N=1984) männlich und 4,4 % (N=134) weiblich. Eine auffällige Gemeinsamkeit zwischen den Geschlechtern besteht darin, dass in beiden Gruppen Ordnungswidrigkeiten häufiger vertreten waren als Straßenverkehrsdelikte.

Im Jahr 2020 machten Ordnungswidrigkeiten ebenfalls den größten Anteil der Fälle aus, nämlich 69,4 % (N=2089) von insgesamt 3011 Fällen. Hierbei waren 65,0 % (N=1957) der Personen, die eine Ordnungswidrigkeit begingen, männlich und 4,4 % (N=132) der Personen mit einer Ordnungswidrigkeit weiblich (Abbildung 19).

Bei Berücksichtigung des Alters in beiden Jahren zeigte sich, dass in allen Altersgruppen Ordnungswidrigkeiten häufiger vertreten waren. Der prozentuale Anteil aller Fälle war bei den 20- bis 30-Jährigen mit 32,0 % (N=962) im Jahr 2019 und mit 32,1 % (N=968) im Jahr 2020 am höchsten (Abbildung 20 und 21).

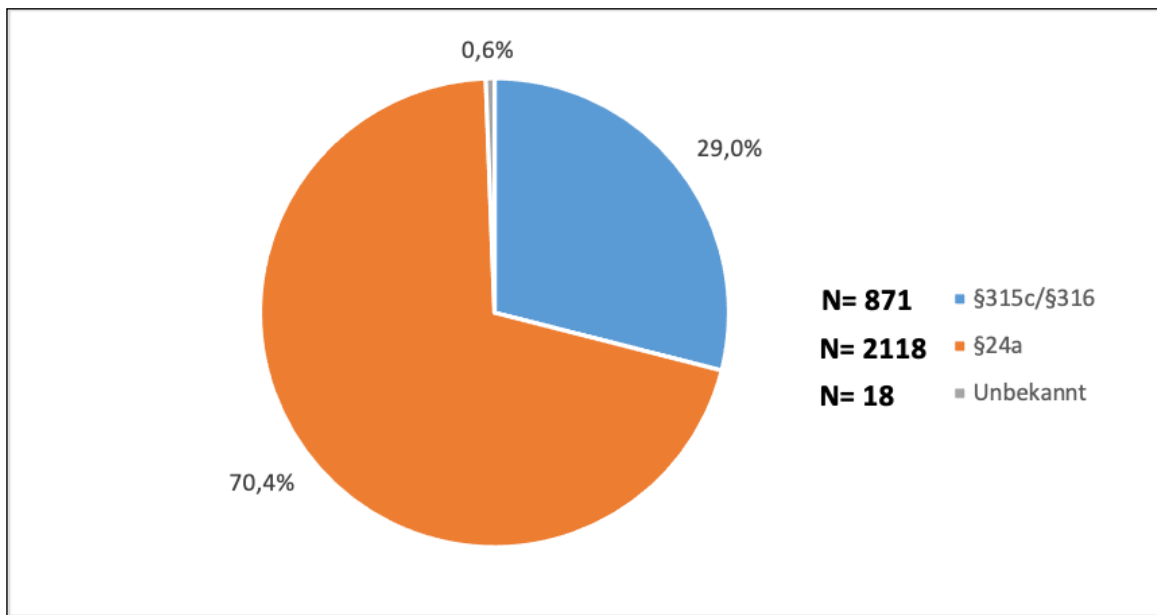


Abbildung 18: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach Deliktart.

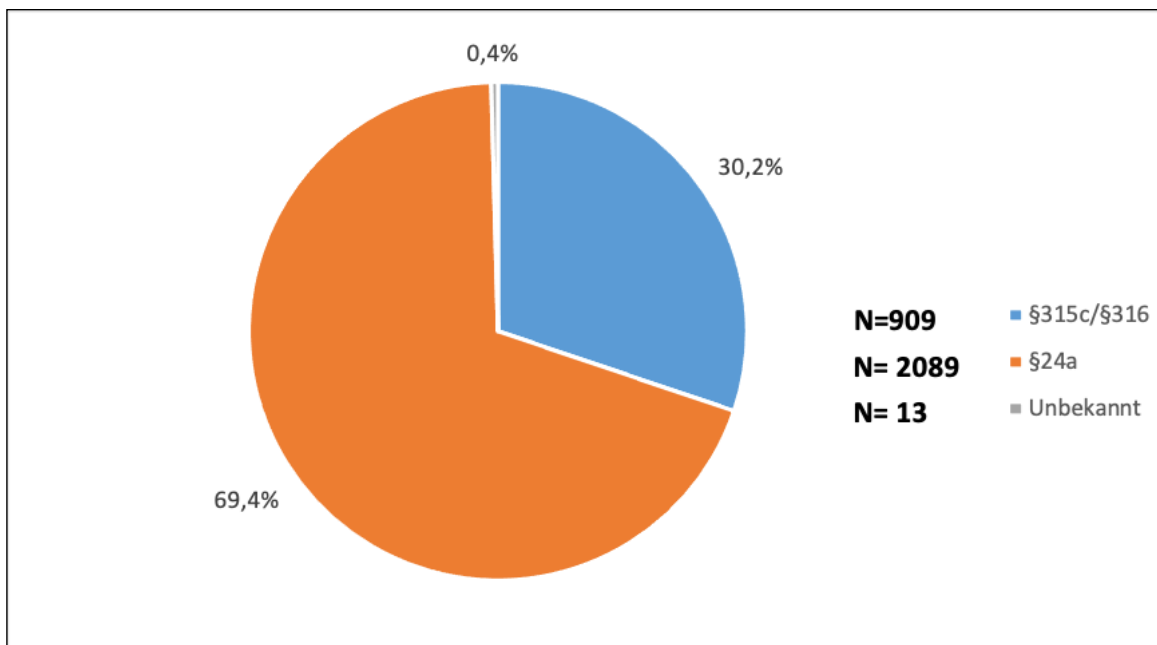


Abbildung 19: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach Deliktart.

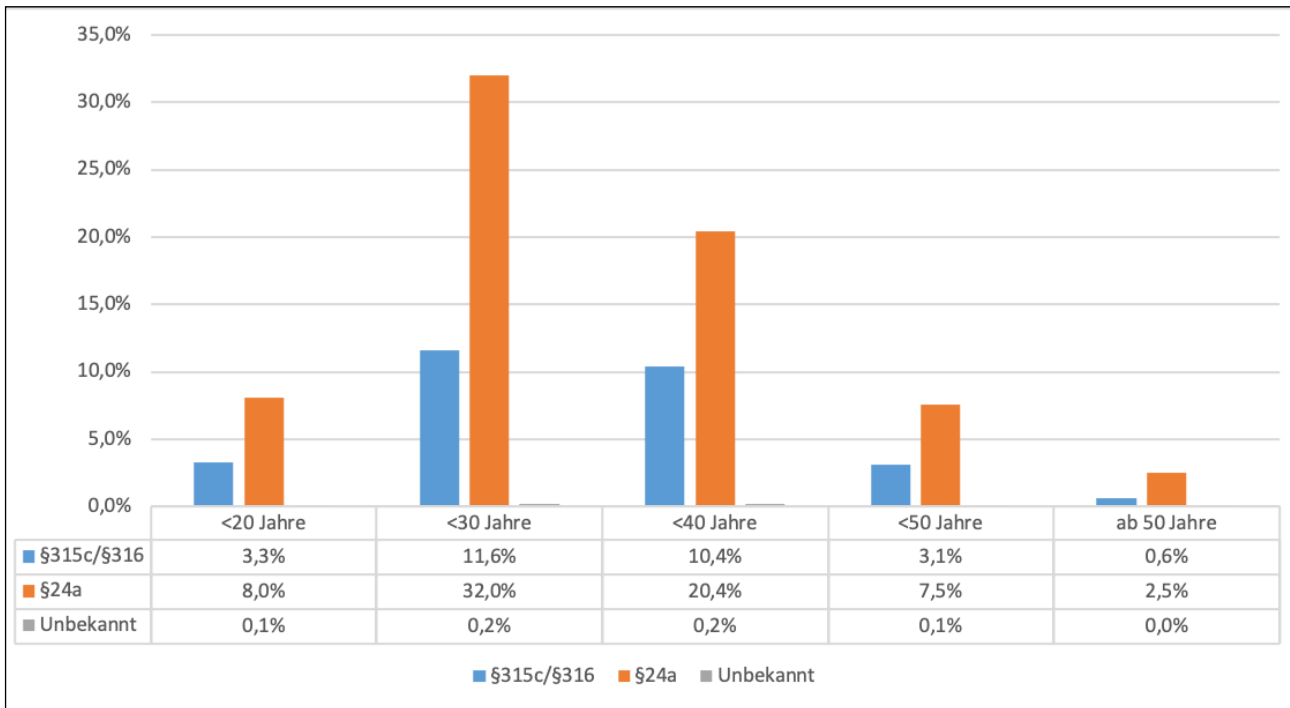


Abbildung 20: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach Deliktart unter Berücksichtigung verschiedener Altersgruppen.

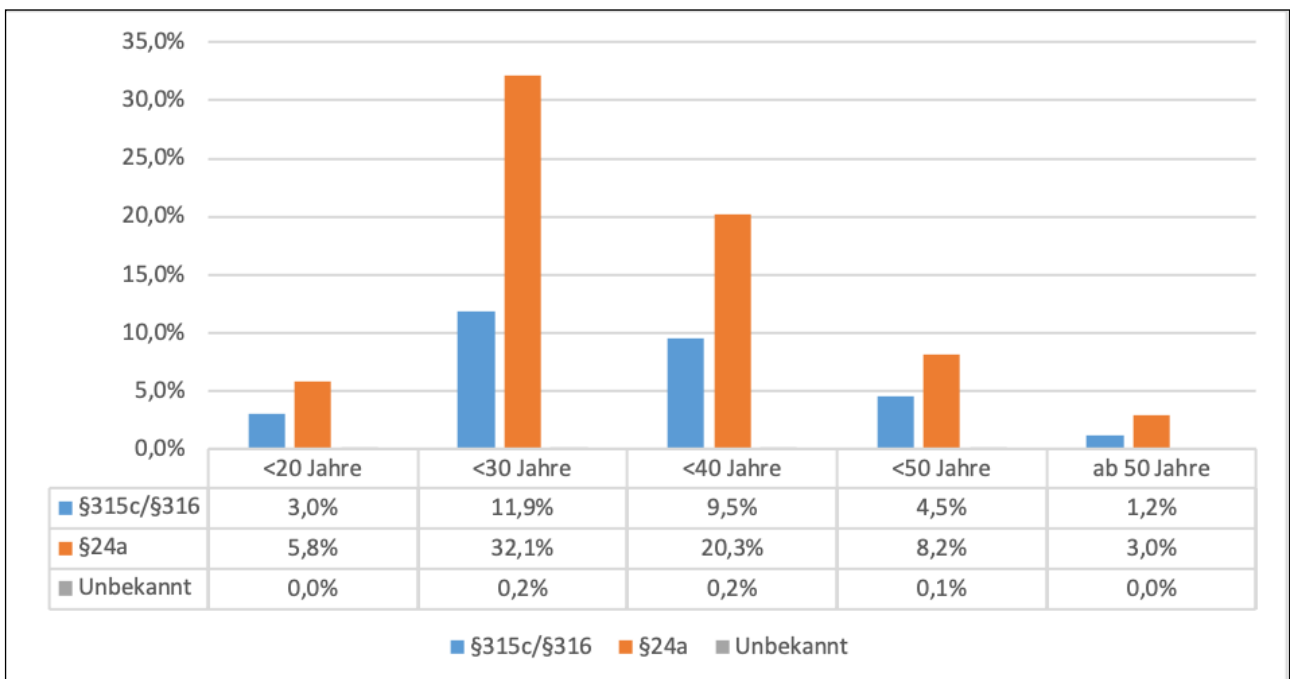


Abbildung 21: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach Deliktart unter Berücksichtigung verschiedener Altersgruppen.

4.5 Grenzwerte

Bei einer umfassenden Analyse aller Fälle hinsichtlich des gegenwärtig empfohlenen THC-Grenzwertes von 1,0 ng/mL zeichnet sich folgendes Bild ab:

Im Jahr 2019 wiesen 80,5 % der Fälle (N=2420) bei der Messung einen THC-Wert von größer gleich 1,0 ng/mL auf (Abbildung 22). Von diesen Fällen waren 57,1 % (N=1716) als Ordnungswidrigkeiten eingestuft, während 22,9 % (N=688) aller Fälle Straßenverkehrsdelikte mit einer THC-Konzentration von größer gleich 1,0 ng/mL darstellten. Ein Anteil von 6,1 % (N=183) aller Fälle repräsentierte Straßenverkehrsdelikte mit einem THC-Wert unter 1 ng/mL im Blutserum. Unter den männlichen Verkehrsteilnehmern wiesen 75,7 % (N=2275) einen THC-Wert von größer gleich 1,0 ng/mL auf. Innerhalb der Altersgruppen zeigte sich, dass 35,6 % (N=1071) der Fälle im Alter zwischen 20 und 30 Jahren eine THC-Konzentration von größer gleich 1,0 ng/mL hatten. Die Altersgruppe ab 50 Jahren wies den geringsten Anteil mit 0,8 % (N=24) aller Fälle und einer THC-Konzentration unter 1,0 ng/mL auf.

Im Jahr 2020 hatten 81,2 % der Fälle (N=2446) eine THC-Konzentration von größer gleich 1,0 ng/mL (Abbildung 23). Unter diesen Fällen wurden 57,2 % (N=1721) als Ordnungswidrigkeiten klassifiziert, während 23,7 % (N=714) der Fälle Straßenverkehrsdelikte mit einer THC-Konzentration von größer gleich 1,0 ng/mL waren. Ein Anteil von 6,5 % (N=195) der Fälle, die Straftaten nach § 315c/§ 316 begingen, hatte einen THC-Wert unter 1,0 ng/mL. Unter den männlichen Verkehrsteilnehmern wiesen 76,5 % (N=2302) eine THC-Konzentration von größer gleich 1,0 ng/mL auf. Die größte Gruppe, nämlich 35,8 % (N=1079) aller Probanden im Alter zwischen 20 und 30 Jahren, hatte eine THC-Konzentration von größer gleich 1,0 ng/mL, während die Altersgruppe ab 50 Jahren mit einem THC-Wert unter 1,0 ng/mL mit 1,0 % (N=29) die Minderheit bildete.

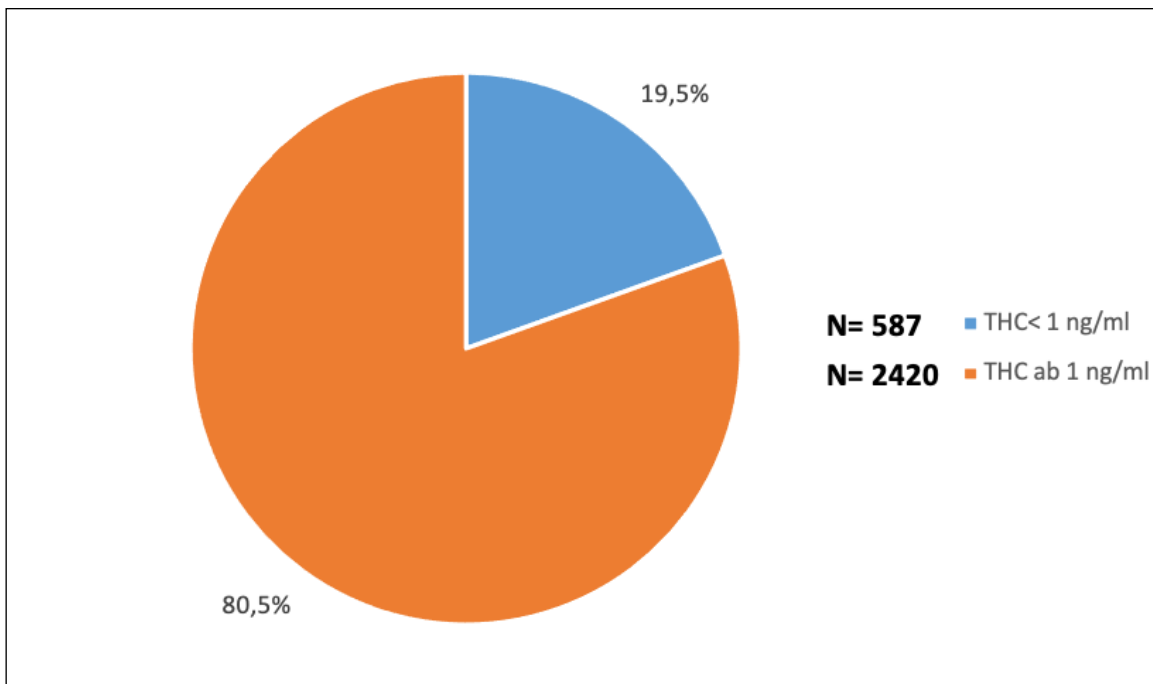


Abbildung 22: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 unter der Berücksichtigung des THC-Grenzwertes 1,0 ng/mL.

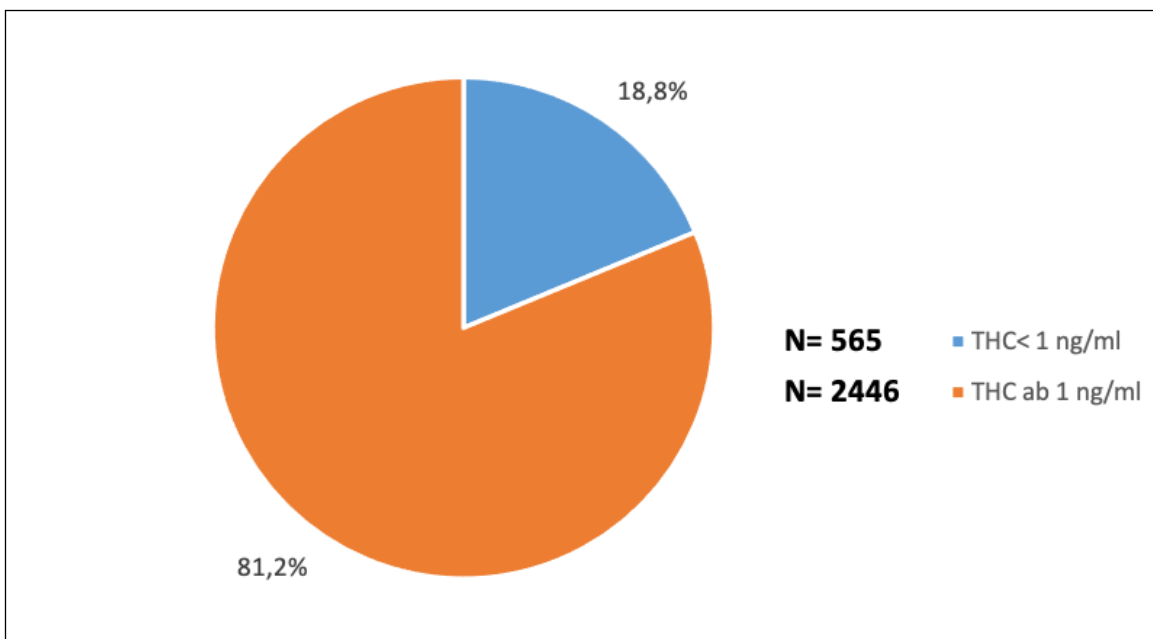


Abbildung 23: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 unter der Berücksichtigung des THC-Grenzwertes 1,0 ng/mL.

Im Falle einer Anhebung des Grenzwertes auf 3,0 ng/mL THC im Blutserum würden im Jahr 2019 insgesamt 1625 Betroffene (54,0 %) eine THC-Konzentration von größer gleich 3,0 ng/mL aufweisen. Die Geschlechterverteilung zeigt, dass die Hälfte der Fälle (50,7 %), bei denen eine THC-Konzentration von größer gleich 3,0 ng/mL gemessen wurde, männlich wäre (N=1526). Bei männlichen Betroffenen mit einer Konzentration von kleiner als 3,0 ng/mL THC im Blutserum würde der Anteil 46,1 % (N=1387) betragen. Unter den weiblichen Betroffenen würde sich eine nahezu symmetrische Verteilung zeigen, wobei 3,2 % (N=95) eine THC-Konzentration von kleiner als 3,0 ng/mL aufweisen und 3,3 % (N=99) eine Konzentration von größer gleich 3,0 ng/mL haben. Von den Ordnungswidrigkeiten mit einer THC-Konzentration größer gleich 3,0 ng/mL würden 38,6 % auf diesen Bereich fallen, während bei 31,8 % (N=957) der Ordnungswidrigkeiten eine Konzentration kleiner als 3,0 ng/mL THC im Blutserum festgestellt werden würde. Bei den Straßenverkehrsdelikten nach § 315c/§ 316 würden 15,1 % (N=453) der Fälle THC-Werte größer gleich 3,0 ng/mL und 13,9 % (N=418) THC-Werte kleiner als 3,0 ng/mL aufweisen. Personen, die zwischen 20 und 30 Jahre alt sind, würden 24,0 % (N=723) der Fälle mit einer THC-Konzentration ab 3,0 ng/mL repräsentieren, während knapp 1,4 % (N=41) 50 Jahre oder älter wären.

Im Jahr 2020 würden bei einer Anhebung des Grenzwertes auf 3,0 ng/mL THC im Blutserum 1748 der 3011 Fälle (58,1 %) eine THC-Konzentration von größer gleich 3,0 ng/mL aufweisen. Davon wären 41,4 % (N=1247) Ordnungswidrigkeiten nach § 24a. Bei 28,0 % (N=842) der Ordnungswidrigkeiten würde eine THC-Konzentration von kleiner als 3,0 ng/mL THC im Blutserum gemessen. Wie im Jahr 2019 wären mehr als die Hälfte der Fälle (54,4 %) mit einer Konzentration größer gleich 3,0 ng/mL THC männlich. Den kleinsten Anteil mit 2,1 % (N=63) wäre die Altersgruppe ab 50 Jahren mit einer Konzentration größer gleich 3,0 ng/mL THC im Blutserum. Im Gegensatz dazu wäre der größte Anteil mit 25,8 % (N=777) der Fälle zwischen 20 und 30 Jahren.

Falls der Grenzwert auf 10,0 ng/mL THC im Blutserum angehoben werden würde, lägen im Jahr 2019 die Konzentrationen in 81,4 % (N=2447) der Fälle unterhalb des vorgeschlagenen Grenzwertes, während 18,6 % (N=560) höhere THC-Konzentrationen hätten. 57,0 % (N=1715) wären Ordnungswidrigkeiten unterhalb dieser Toleranzgrenze und 13,4 % (N=403) der Personen, die eine Ordnungswidrigkeiten nach § 24a begingen, wären oberhalb der 10,0 ng/mL Toleranzgrenze. Bei den Straßenverkehrsdelikten nach § 315c/§ 316 hätten 24,0 % (N=722) der Fälle eine THC-Konzentration kleiner als 10,0 ng/mL THC und 5,0 % (N=149) größer gleich 10,0 ng/mL THC im Blutserum.

Im Jahr 2020 lägen die Konzentrationen in 74,8 % (N=2252) der Fälle niedriger als 10,0 ng/mL. Davon wären 50,5 % (N=1520) Ordnungswidrigkeiten nach § 24a und 24,0 % (N=723) Straßenverkehrsdelikte nach § 315c/§ 316. Rund ein Viertel (25,2 %) aller Fälle (N=759) hätten eine Konzentration von größer gleich 10,0 ng/mL THC im Blutserum. 18,9 % (N=569) würden eine Ordnungswidrigkeit begehen und hätten eine Konzentration von größer gleich 10,0 ng/mL THC im Blutserum.

4.6 Konsummuster

4.6.1 Verteilung nach Konsummuster

Als Entscheidungsgrenze für einen regelmäßigen Konsum wurde der THC-COOH-Wert von 150 ng/mL im Blutserum, der bei spontanen Blutentnahmen im Straßenverkehr aktuell in Verwendung ist, festgelegt [16].

Im Jahr 2019 fallen demnach 557 Fälle (18,5 %) in den Bereich eines regelmäßigen Konsummusters, während 2450 Personen (81,5 %) als gelegentliche Konsumenten klassifiziert werden (Abbildung 24).

Für das Jahr 2020 wurden 2341 Fälle (77,7 %) als gelegentliche Konsumenten und 670 Fälle (22,3 %) als regelmäßige Konsumenten eingestuft (Abbildung 25).

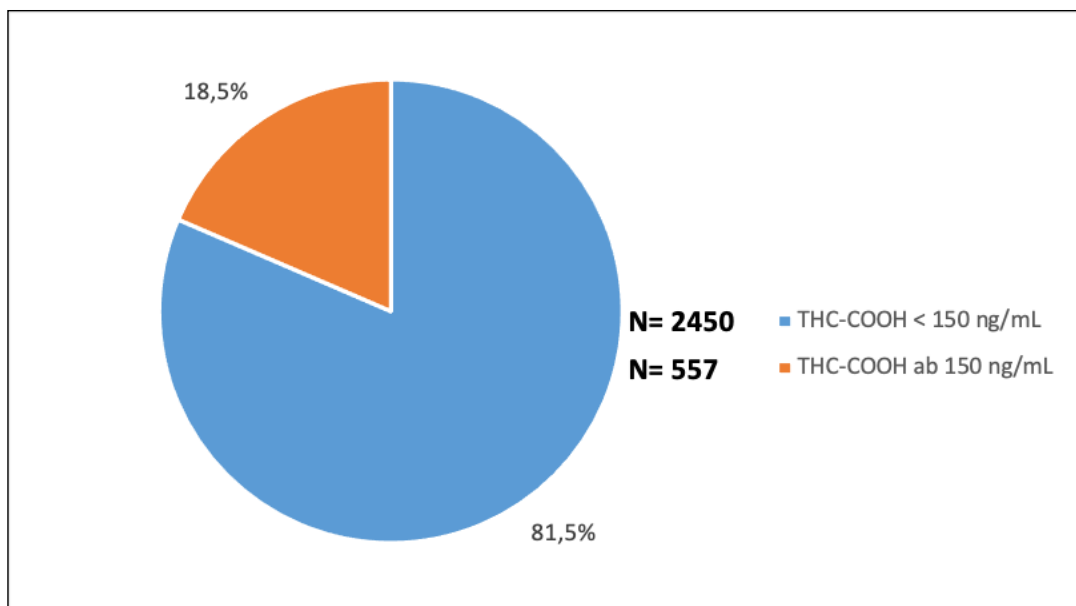


Abbildung 24: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach Konsummuster. Als Entscheidungsgrenze für das Konsummuster wurde 150 ng/mL THC-COOH verwendet.

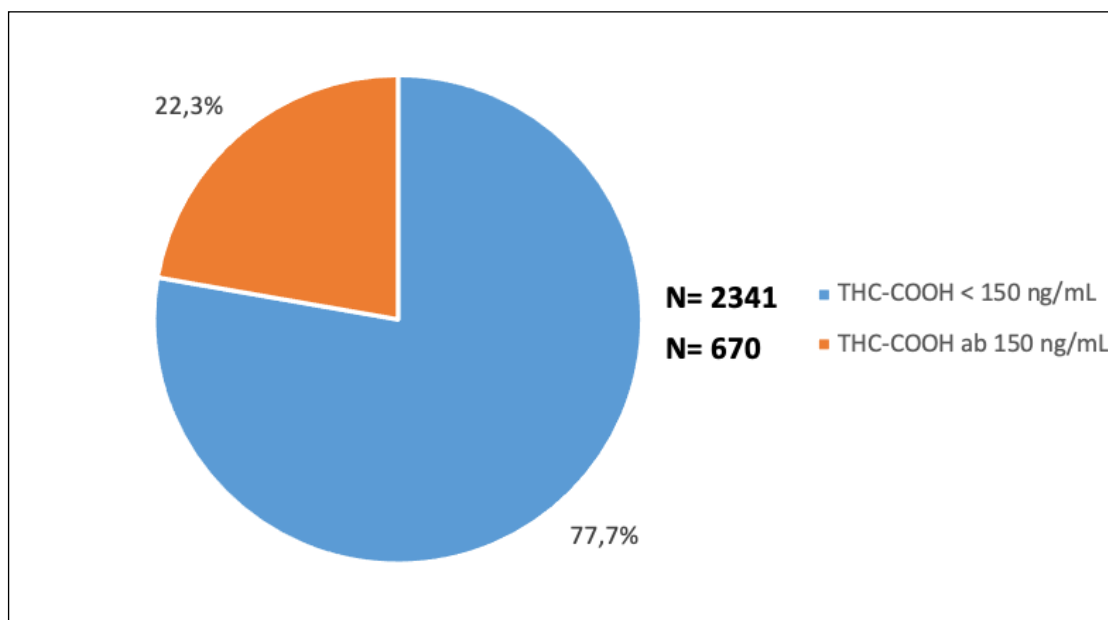


Abbildung 25: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach Konsummuster. Als Entscheidungsgrenze für das Konsummuster wurde 150 ng/mL THC-COOH verwendet.

4.6.2 Deliktarten und Konsummuster

Der Großteil der Datensätze aus dem Jahr 2019 entfiel auf gelegentliche Konsumenten, die eine Ordnungswidrigkeit nach § 24a begingen (57,7 %, N=1735). Anschließend folgten mit 23,3 % (N=702) gelegentliche Konsumenten, die nach § 315c/§ 316 beschuldigt wurden. Die verbliebenen Anteile von 5,6 % (N=169) und 12,7 % (N=383) der Fälle bildeten chronische Konsumenten, die eine Straftat nach § 315c/§ 316 bzw. eine Ordnungswidrigkeit nach § 24a begingen (Abbildung 26).

Von den 77,7 % gelegentlichen Konsumenten im Jahr 2020 entfielen 53,4 % (N=1607) auf Betroffene, die eine Ordnungswidrigkeit begingen. Unter den regelmäßigen Konsumenten machten 16,0 % (N=482) der Fälle Ordnungswidrigkeiten nach § 24a aus, während knapp 6,2 % (N=186) eine Straftat nach § 315c/§ 316 begingen (Abbildung 27).

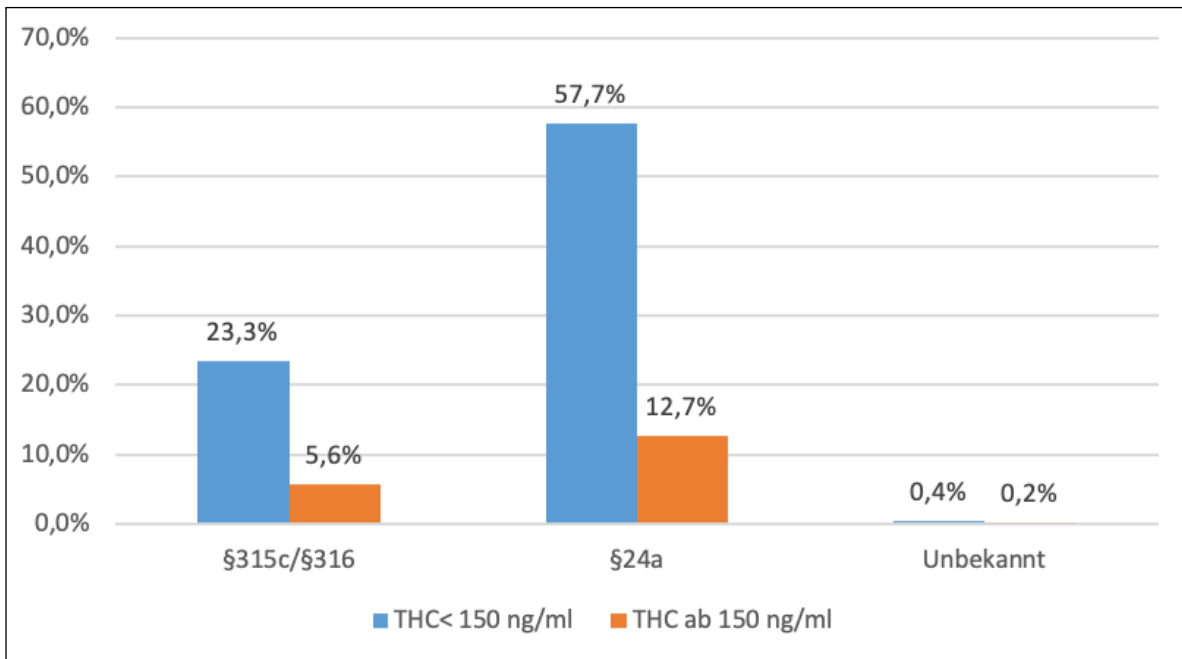


Abbildung 26: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach Konsummuster und in Korrelation zur Deliktart. Als Entscheidungsgrenze für das Konsummuster wurde 150 ng/mL THC-COOH verwendet.

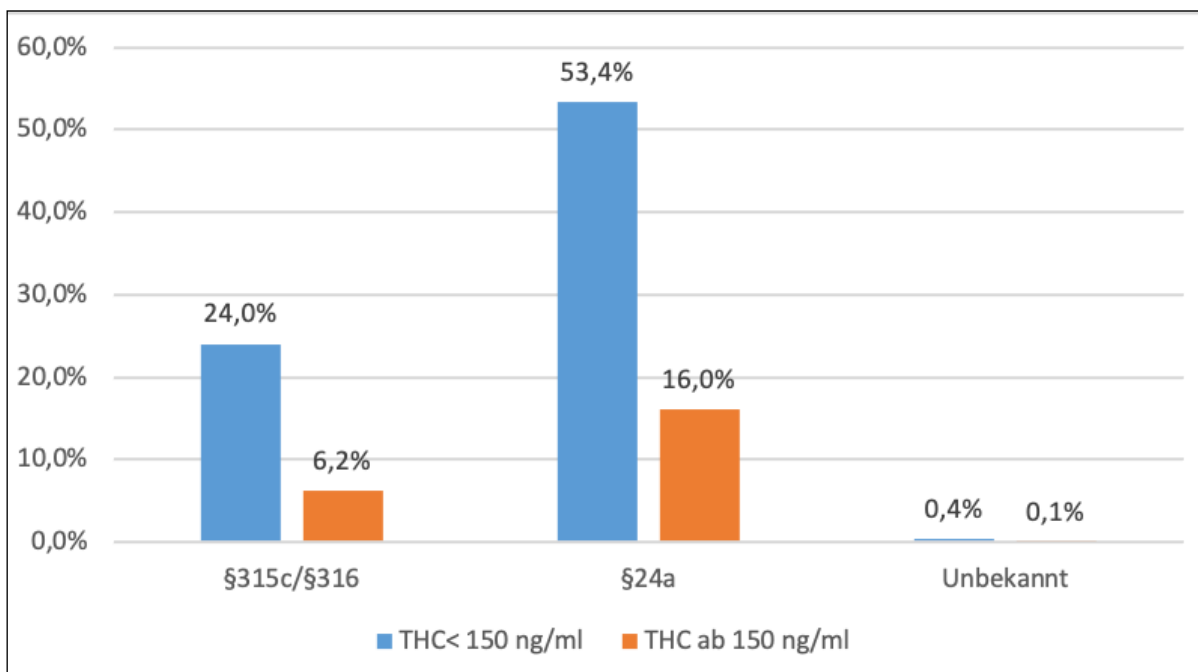


Abbildung 27: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach Konsummuster und in Korrelation zur Deliktart. Als Entscheidungsgrenze für das Konsummuster wurde 150 ng/mL THC-COOH verwendet.

4.6.3 Geschlecht und Konsummuster

Im Jahr 2019 waren 76,1 % (N=2288) der Fälle männliche Verkehrsteilnehmer, die eine THC-COOH-Konzentration unterhalb von 150 ng/mL im Blutserum hatten. Im Gegensatz dazu waren 5,4 % (N=162) der Fälle weibliche Verkehrsteilnehmer und zeigten ein gelegentliches Konsummuster. 1,1 % (N=32) waren weibliche chronische Konsumenten, während 17,5 % (N=525) männliche chronische Konsumenten waren. Der Anteil des gelegentlichen Konsummusters innerhalb der Geschlechter war bei Männern und Frauen mit 81,3 % bzw. 83,5 % nahezu identisch (Abbildung 28).

Im Jahr 2020 bildeten männliche gelegentliche Konsumenten den Hauptanteil mit 72,8 % (N=2192), gefolgt von männlichen regelmäßigen Konsumenten mit 21,1 % (N=634). Frauen machten mit 4,9 % (N=149) bei gelegentlichem Konsummuster und 1,2 % (N=36) bei chronischem Konsummuster den geringsten Anteil aus. Bei der Betrachtung des Anteils des gelegentlichen Konsummusters innerhalb der Geschlechter wurde ein minimaler Unterschied zwischen Männern und Frauen festgestellt, nämlich 77,6 % bzw. 80,5 % (Abbildung 29).

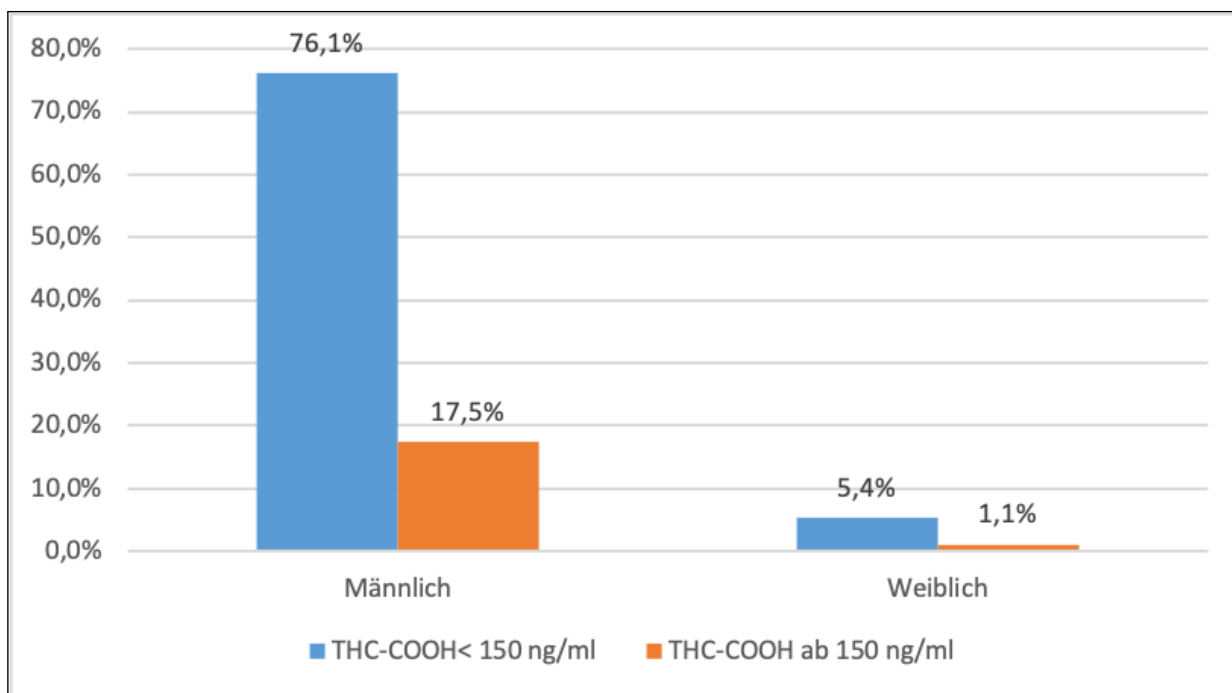


Abbildung 28: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach Konsummuster und in Korrelation zum Geschlecht. Als Entscheidungsgrenze für das Konsummuster wurde 150 ng/mL THC-COOH verwendet.

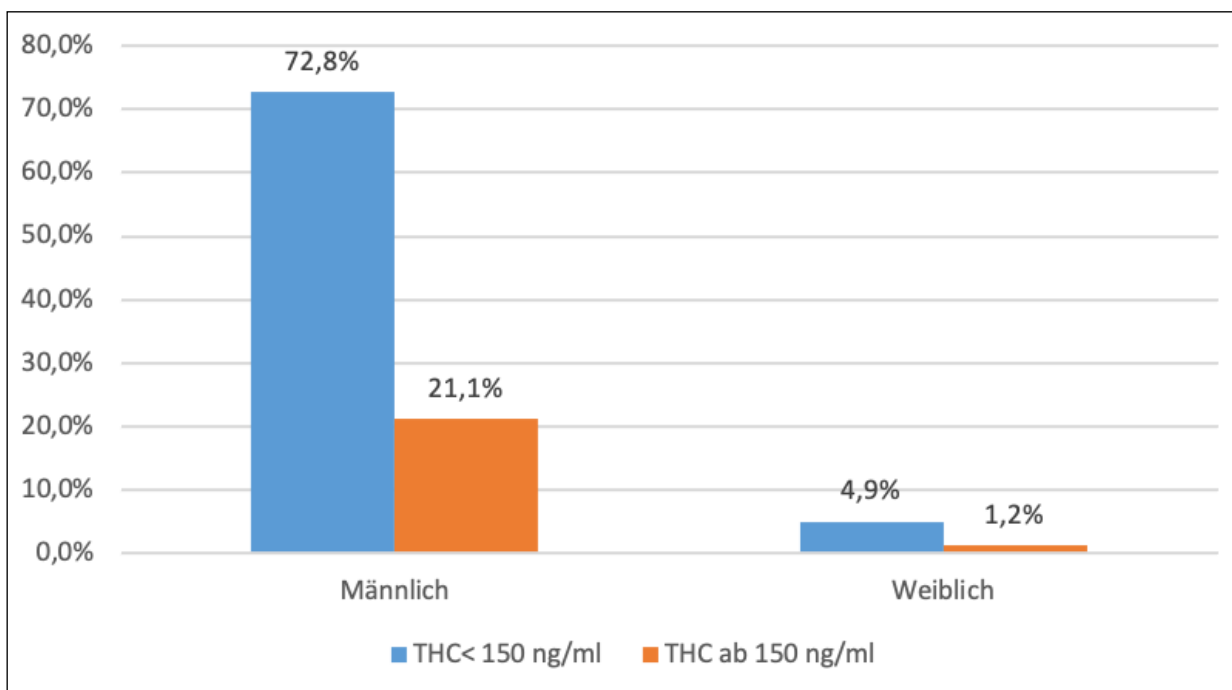


Abbildung 29: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach Konsummuster und in Korrelation zum Geschlecht. Als Entscheidungsgrenze für das Konsummuster wurde 150 ng/mL THC-COOH verwendet.

4.7 Konsumverhalten und Grenzwerte bei Ordnungswidrigkeiten

Die Analyse der 2118 Ordnungswidrigkeiten, die im Jahr 2019 nach § 24a begangen wurden, im Zusammenhang mit dem Konsumverhalten und verschiedenen Grenzwerten ergibt folgende Resultate, die in Tabelle 8 dargestellt sind. Innerhalb der 2118 Betroffenen sind 383 (18,1 %) chronische Konsumenten und 1735 (81,9 %) gelegentliche Konsumenten. Unter Berücksichtigung des aktuellen Grenzwertes von 1,0 ng/mL THC im Blutserum würden alle chronischen Konsumenten (N=383) den Grenzwert überschreiten, während bei 76,8 % (N=1333) der gelegentlichen Konsumenten mindestens ein THC-Wert von 1,0 ng/mL nachgewiesen werden könnte. Bei einer Erhöhung des THC-Grenzwertes auf 3,0 ng/mL würde dies zu einer Reduktion auf 97,4 % bei den chronischen Konsumenten (N=373) und auf 45,4 % bei den gelegentlichen Konsumenten (N=788) führen. Bei Anwendung eines THC-Werts von 10,0 ng/mL als Grenzwert wären 63,7 % (N=244) der chronischen und 9,2 % (N=159) der gelegentlichen Konsumenten oberhalb des Grenzwertes.

Im Jahr 2020 wurden 2089 Ordnungswidrigkeiten nach § 24a begangen. Wenn die Entscheidungsgrenze für einen chronischen Konsum von 150 ng/mL THC-COOH im Blutserum berücksichtigt wird, wurden 482 Ordnungswidrigkeiten (23,1 %) von chronischen Konsumenten und 1607 Ordnungswidrigkeiten (76,9 %) von gelegentlichen Konsumenten begangen. Unter Verwendung des THC-Grenzwertes von 1,0 ng/mL haben alle chronischen Konsumenten (N=482) den Grenzwert überschritten. Bei den gelegentlichen Konsumenten sind es 77,1 % (N=1239). Bei Anhebungen des THC-Grenzwertes auf 3,0 ng/mL bzw. 10,0 ng/mL würden 99,0 % (N=477) bzw. 75,1 % (N=362) der chronischen Konsumenten und 47,9 % (N=770) bzw. 12,9 % (N=207) der gelegentlichen Konsumenten den Grenzwert überschreiten. Die Ergebnisse aus dem Jahr 2020 sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 8: Auswirkung verschiedener Grenzwerte unter Berücksichtigung des Konsumverhaltens bei Ordnungswidrigkeiten 2019.

Angenommener Grenzwert	Konsummuster	
	Gelegentlich (N=1735)	Chronisch (N=383)
1 ng/mL	76,8 (N=1333)	100 (N=383)
3 ng/mL	45,4 (N=788)	97,4 (N=373)
10 ng/mL	9,2 (N=159)	63,7 (N=244)

Grenzwelle für chronischen Konsum (150 ng/mL THC-COOH)

Anteile der Fälle (in %) oberhalb des THC-Grenzwertes

Tabelle 9: Auswirkung verschiedener Grenzwerte unter Berücksichtigung des Konsumverhaltens bei Ordnungswidrigkeiten 2020.

Angenommener Grenzwert	Konsummuster	
	Gelegentlich (N=1607)	Chronisch (N=482)
1 ng/mL	77,1 (N=1239)	100 (N=482)
3 ng/mL	47,9 (N=770)	99,0 (N=477)
10 ng/mL	12,9 (N=207)	75,1 (N=362)

Grenzwelle für chronischen Konsum (150 ng/mL THC-COOH)

Anteile der Fälle (in %) oberhalb des THC-Grenzwertes

4.8 Abschätzungen und Berechnungen der Konsumzeitpunkte

4.8.1 Eigene Angaben der Straßenverkehrsteilnehmer

Im Jahr 2019 machten 45,0 % (1354 von 3007) der Straßenverkehrsteilnehmer bei der polizeilichen Kontrolle Angaben zum Zeitpunkt ihres Cannabiskonsums. Nach einer detaillierten Aufteilung der Konsumzeitangaben in mehrere Stundenabschnitte ergab sich folgendes Bild: 101 Fälle gaben ihren letzten Konsumpunkt innerhalb von 0-1 Stunden, 137 innerhalb von 2-4 Stunden, 93 innerhalb von 5-8 Stunden, 430 innerhalb von 9-24 Stunden, 587 einen Zeitpunkt länger als 24 Stunden und 6 ein „tägliches“ Konsummuster an (Abbildung 30).

Im Jahr 2020 machten 47,3 % (1425 von 3011) der Straßenverkehrsteilnehmer Angaben zum letzten Konsumzeitpunkt. Von diesen 1425 Personen gaben 85 an, dass ihr letzter Konsum vor 0-1 Stunden stattgefunden hat, 189 vor 2-4 Stunden, 93 vor 5-8 Stunden, 534 vor 9-24 Stunden, 515 einen Zeitpunkt länger als 24 Stunden und 9 Personen gaben ein „tägliches“ Konsummuster an (Abbildung 31).

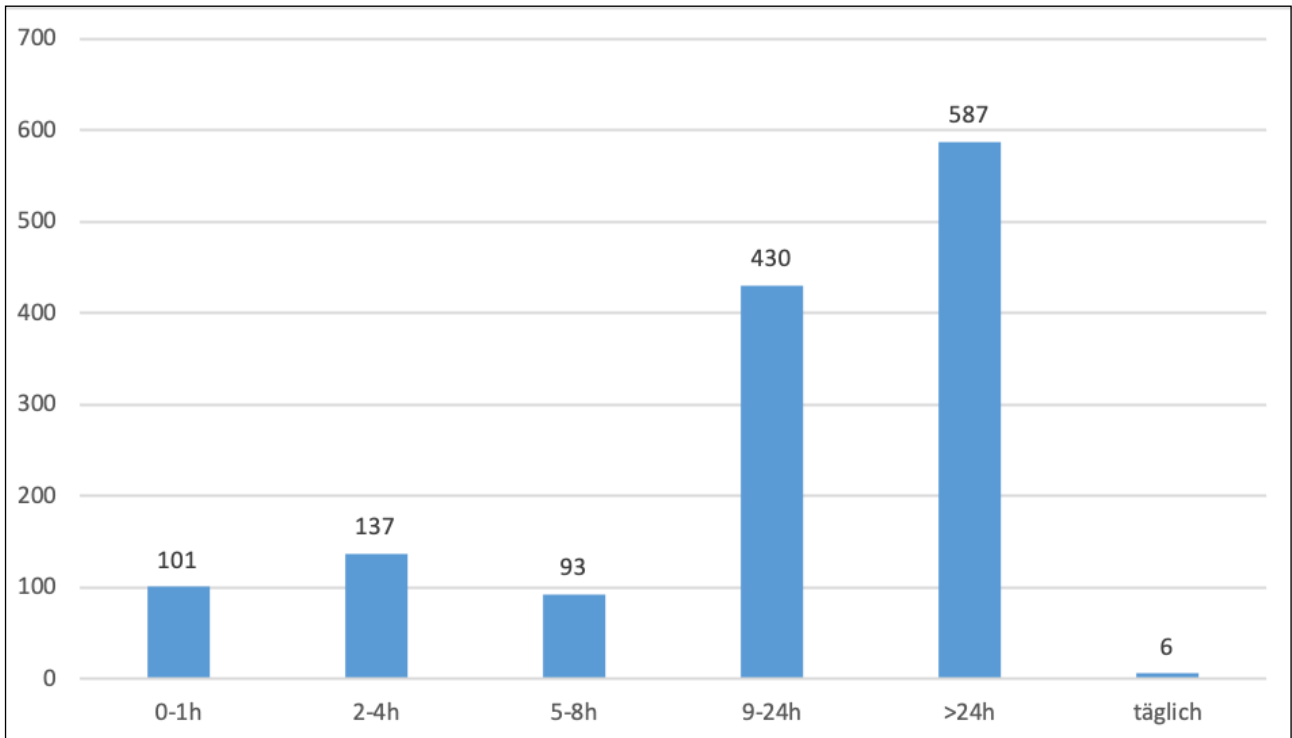


Abbildung 30: Absolute Aufteilung der individuellen Konsumzeitangaben der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 in Stundenabschnitte.

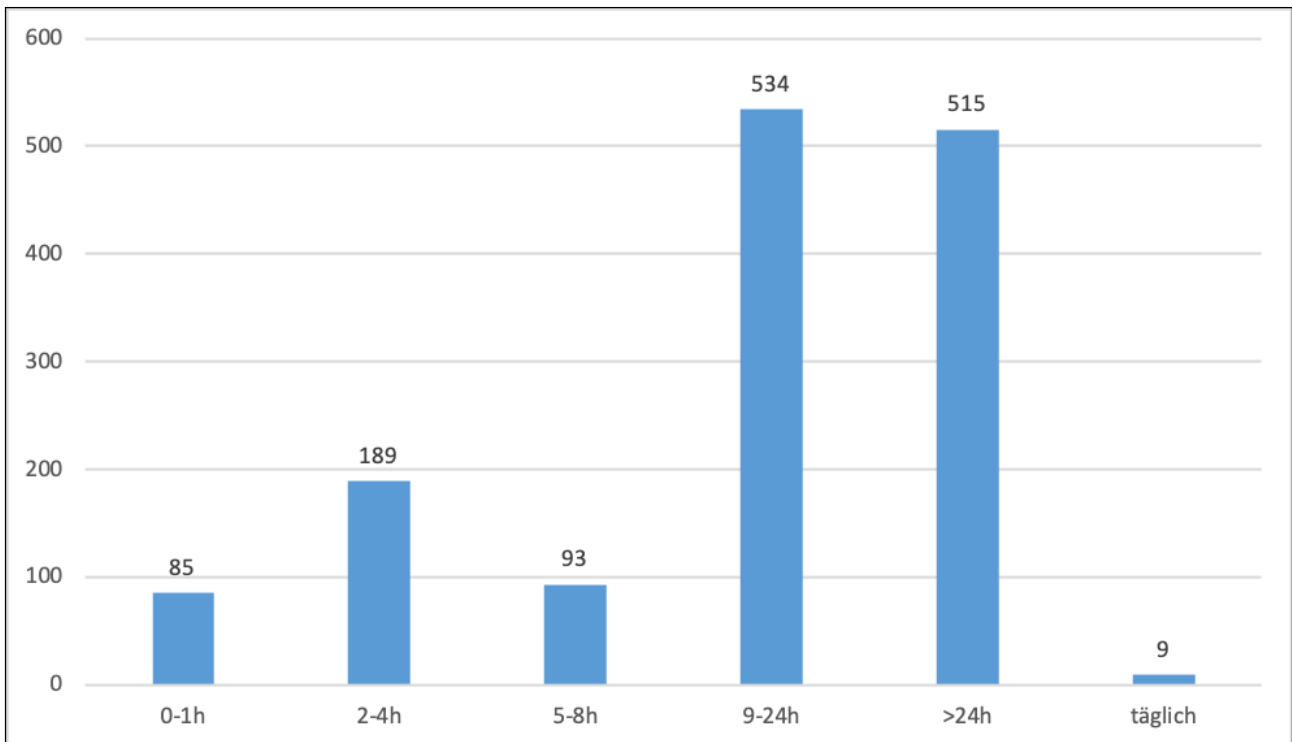


Abbildung 31: Absolute Aufteilung der individuellen Konsumzeitangaben der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 in Stundenabschnitte.

4.8.2 Berechnungen mit den Modellen nach Huestis

Huestis konnte mithilfe der Pharmakokinetik und anhand der Plasmakonzentrationen von THC und THC-COOH zwei Modelle entwickeln, die eine Schätzung des letzten Cannabiskonsumzeitpunktes bei Probanden ermöglichen [44,46]. Modell I berücksichtigt ausschließlich die Plasmakonzentration von THC, während Modell II das Verhältnis der Plasmakonzentrationen von THC-COOH zu THC in die Berechnung einbezieht. In unserem Datensatz vom Institut der Rechtsmedizin Köln wurden beide Modelle angewendet, um den Konsumzeitpunkt von Probanden zu berechnen, die unter Cannabiseinfluss am Straßenverkehr teilgenommen haben. Die Ergebnisse wurden anschließend mit den angegebenen Konsumzeitpunkte der Straßenverkehrsteilnehmer verglichen. Jeweils zwei der 331 im Jahr 2019 und zwei der 367 im Jahr 2020 angegebenen Konsumzeitpunkte konnten mathematisch nicht berechnet werden, da die THC-Konzentration der Beschuldigten bzw. Betroffenen 0 ng/mL betrug und dieser Wert nicht im Nenner oder als Argument in der Logarithmusfunktion verwendet werden darf.

Für das Jahr 2019 wurden bei Anwendung von Modell I auf Angaben mit einem angegebenen Konsumzeitpunkt von weniger als neun Stunden 48,9 % (162 von 331) der Fälle korrekt eingeschätzt. Bei den restlichen 167 Fällen, deren berechneter Zeitpunkt nicht innerhalb des Konfidenzintervalls lag, ergaben sich 142 Unterschätzungen und 25 Überschätzungen (Abbildung 32). Das Modell II erreichte hingegen eine korrekte Einschätzung von 75,8 % (251 von 331). 26 Fälle wurden unterschätzt und 52 überschätzt (Abbildung 33). Bei genauerer Betrachtung der einzelnen Stundenabschnitte wurde festgestellt, dass die Zuverlässigkeit beider Modelle mit zunehmender Zeitspanne abnahm. Nach acht Stunden betrug die Zuverlässigkeit 31,3 % (Modell I) bzw. 43,8 % (Modell II). Durch die Kombination beider Modelle ergab sich eine hohe Übereinstimmung von 87,3 % (289 von 331). 24 Fälle wurden unterschätzt und 16 überschätzt (Abbildung 34). Auch hier nahm die Übereinstimmung der Konsumangaben mit zunehmend zurückliegendem Zeitpunkt ab, wobei nach acht Stunden rund die Hälfte der Konsumzeitpunkte richtig eingeschätzt wurde. Besonders bei Modell II ergab sich eine große Ungenauigkeit innerhalb von einer Stunde, bei der 51 von 101 Fällen (50,5 %) falsch eingeschätzt wurden.

Im Jahr 2020 wurden bei der Anwendung von Modell I auf 367 Angaben mit einem angegebenen Konsumzeitpunkt innerhalb der letzten acht Stunden 52,0 % (191 von 367) der Konsumzeitpunkte richtig eingeschätzt. 157 Fälle wurden unterschätzt und 17 überschätzt (Abbildung 35). Modell II hingegen ermöglichte die korrekte Einschätzung von 77,7 % (285 von 367) der Konsumzeitpunkte. 31 Fälle wurden unterschätzt und 49 überschätzt (Abbildung 36). Ähnlich wie im Jahr 2019 sank die Zuverlässigkeit der Modelle mit zunehmender Zeitspanne. Während Modell II im 3-Stunden-Abschnitt eine Zuverlässigkeit von 97,0 % (64 von 66) aufwies, sank diese nach acht Stunden auf 54,3 % (19 von 35). Durch die Kombination beider Modelle wurden 89,4 % (328 von 367) der Konsumzeitpunkte richtig eingeschätzt. Es kam zu 28 Unterschätzungen und 9 Überschätzungen (Abbildung 37). Eine bedeutende Ungenauigkeit zeigte sich erneut bei Modell II innerhalb von einer Stunde, bei der 41 von 85 Fällen (48,2 %) falsch eingeschätzt wurden.

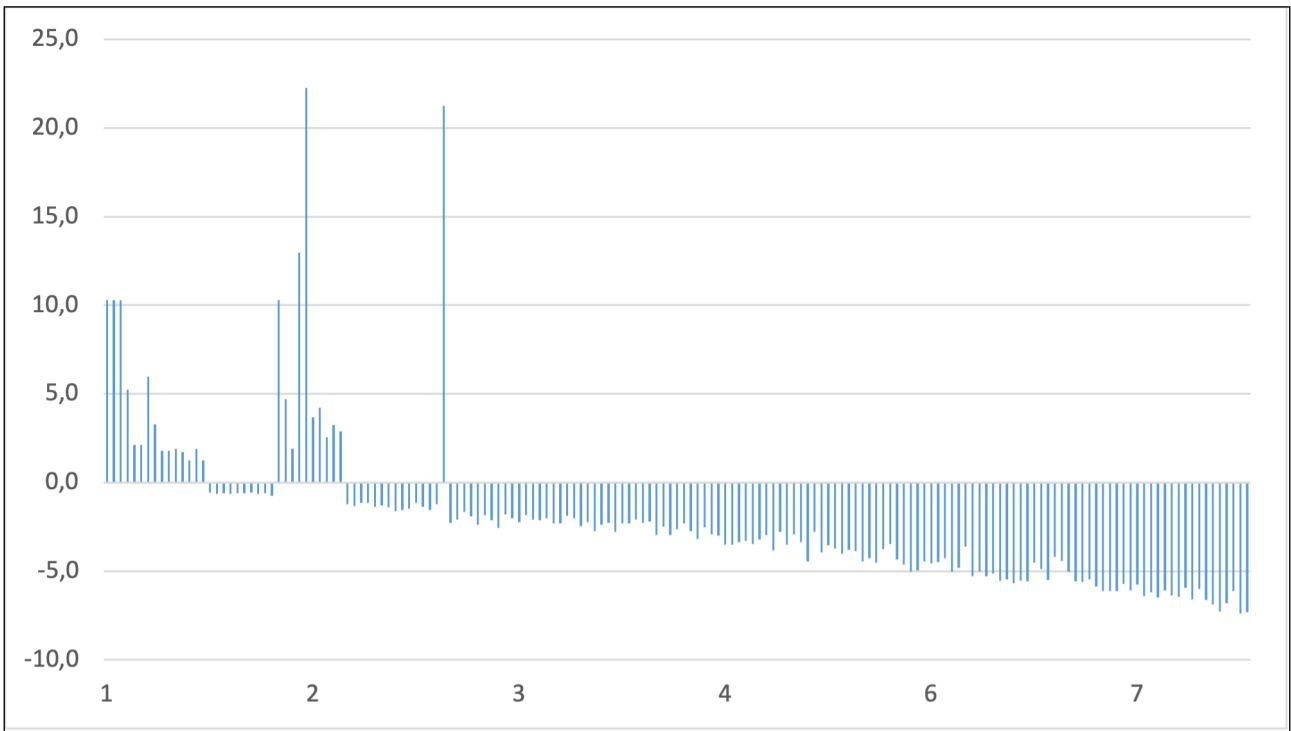


Abbildung 32: Unter- und Überschätzungen von Modell I aus dem Jahr 2019 in Stunden. Der x-Achsenabschnitt gibt den angegebenen Konsumzeitpunkt in Stunden an.

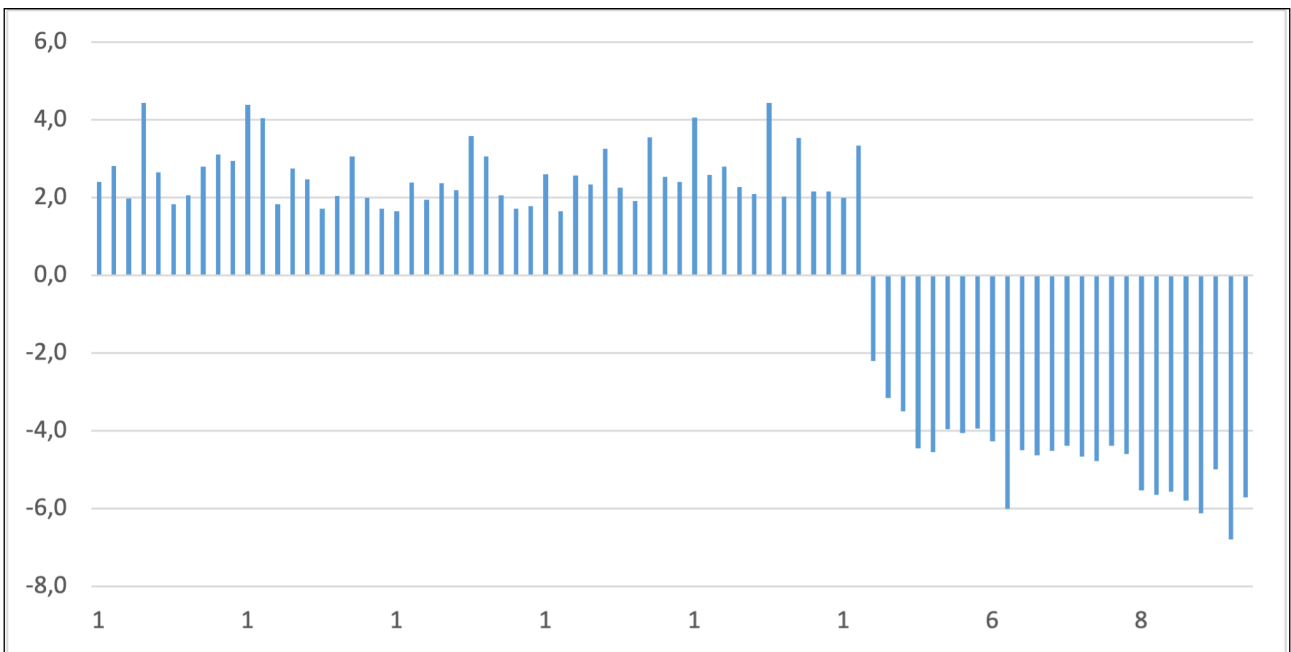


Abbildung 33: Unter- und Überschätzungen von Modell II aus dem Jahr 2019 in Stunden. Der x-Achsenabschnitt gibt den angegebenen Konsumzeitpunkt in Stunden an.

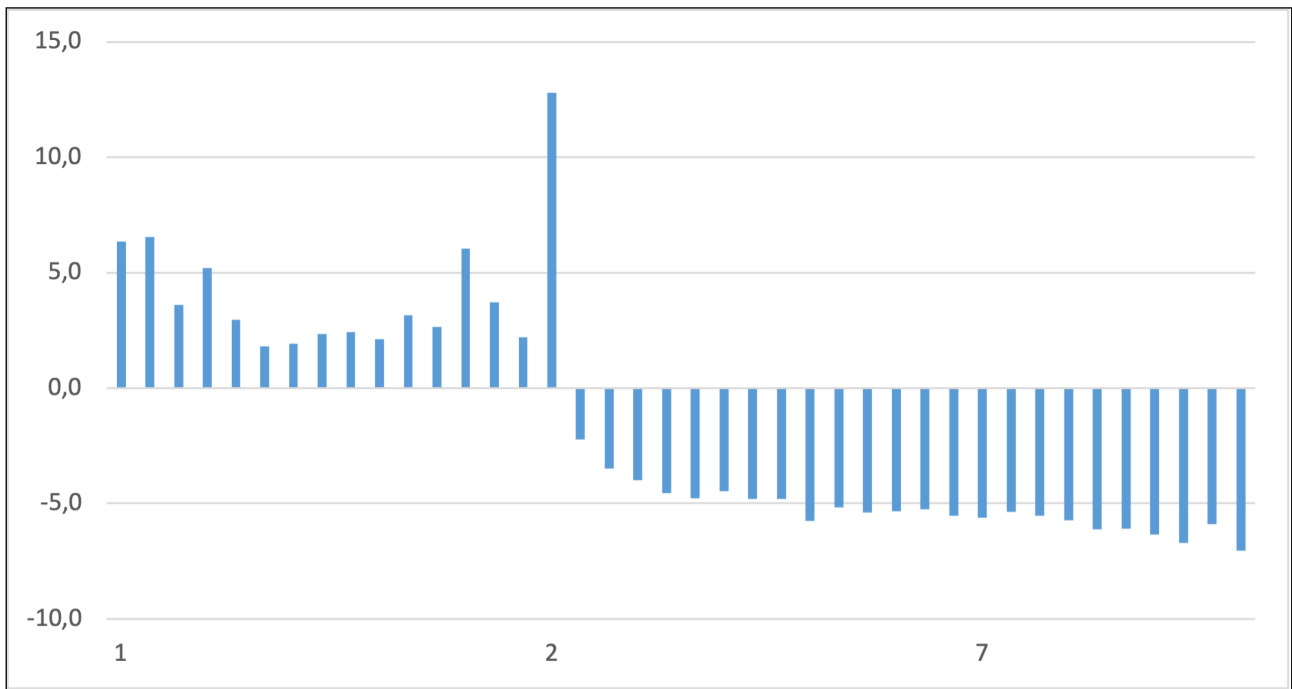


Abbildung 34: Unter- und Überschätzungen bei Kombination beider Modelle aus dem Jahr 2019 in Stunden. Der x-Achsenabschnitt gibt den angegebenen Konsumzeitpunkt in Stunden an.

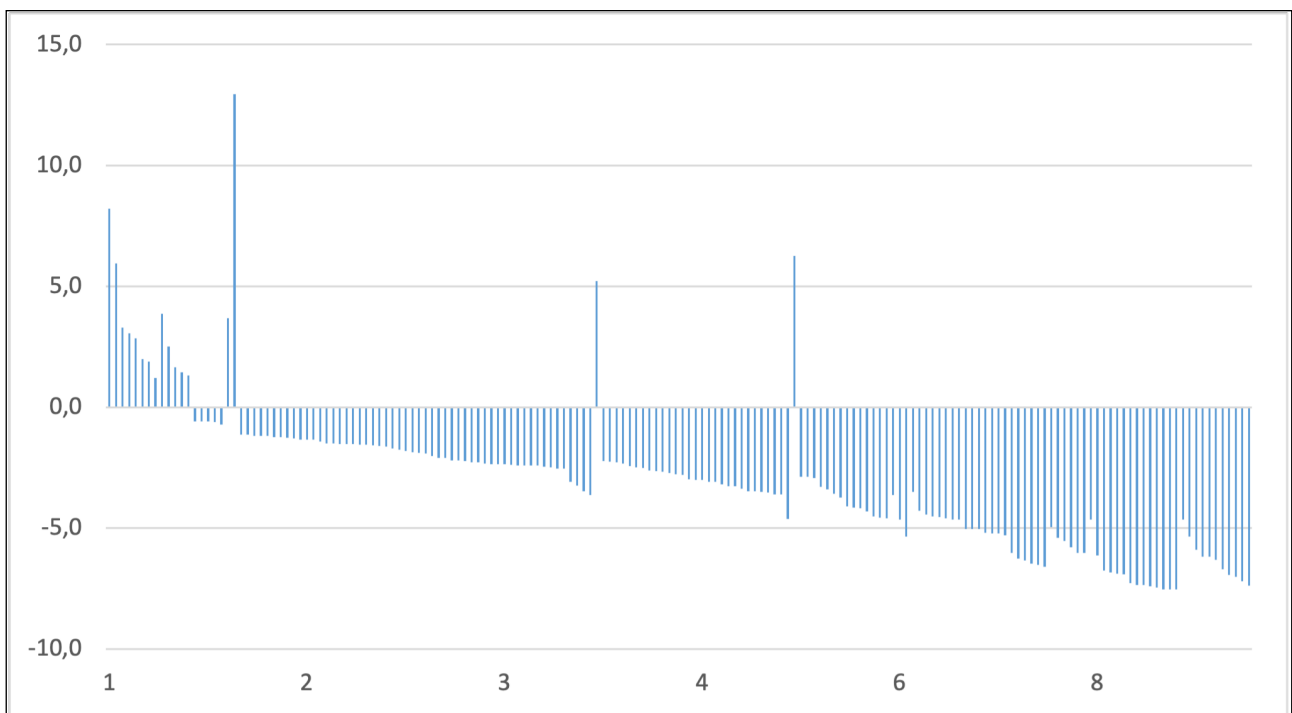


Abbildung 35: Unter- und Überschätzungen von Modell I aus dem Jahr 2020 in Stunden. Der x-Achsenabschnitt gibt den angegebenen Konsumzeitpunkt in Stunden an.

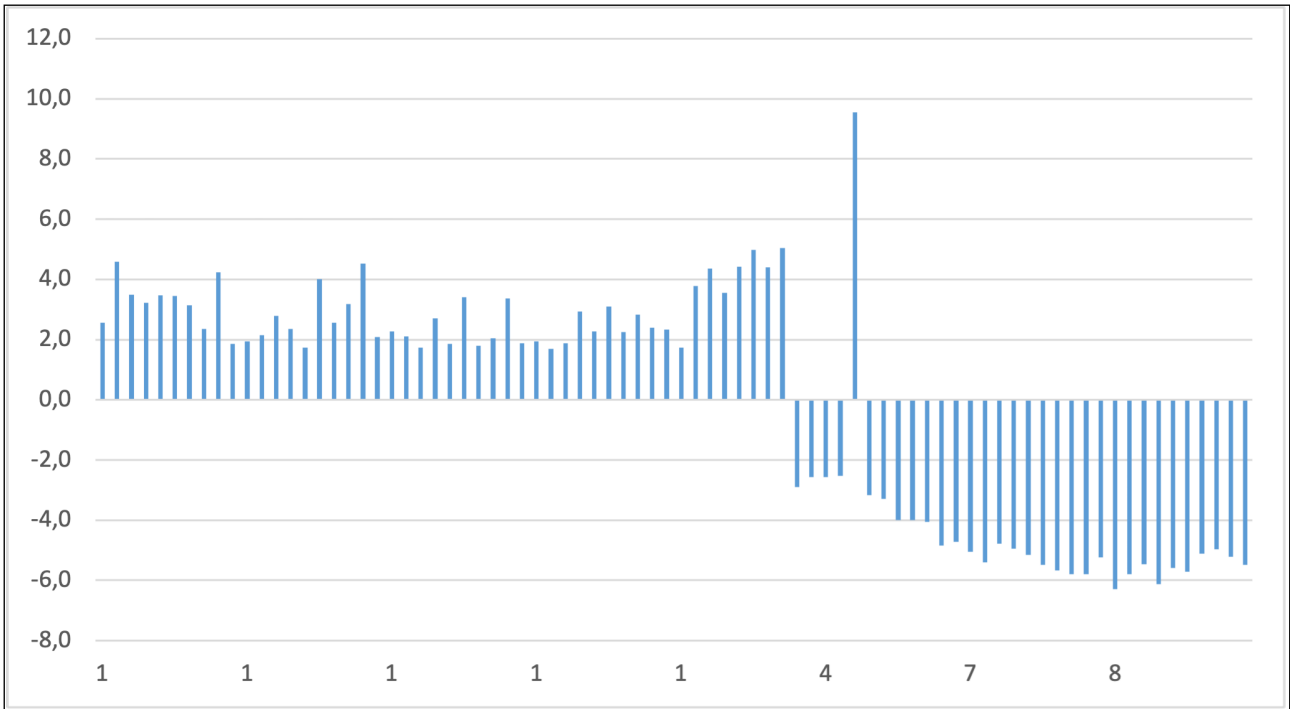


Abbildung 36: Unter- und Überschätzungen von Modell II aus dem Jahr 2020 in Stunden. Der x-Achsenabschnitt gibt den angegebenen Konsumzeitpunkt in Stunden an.

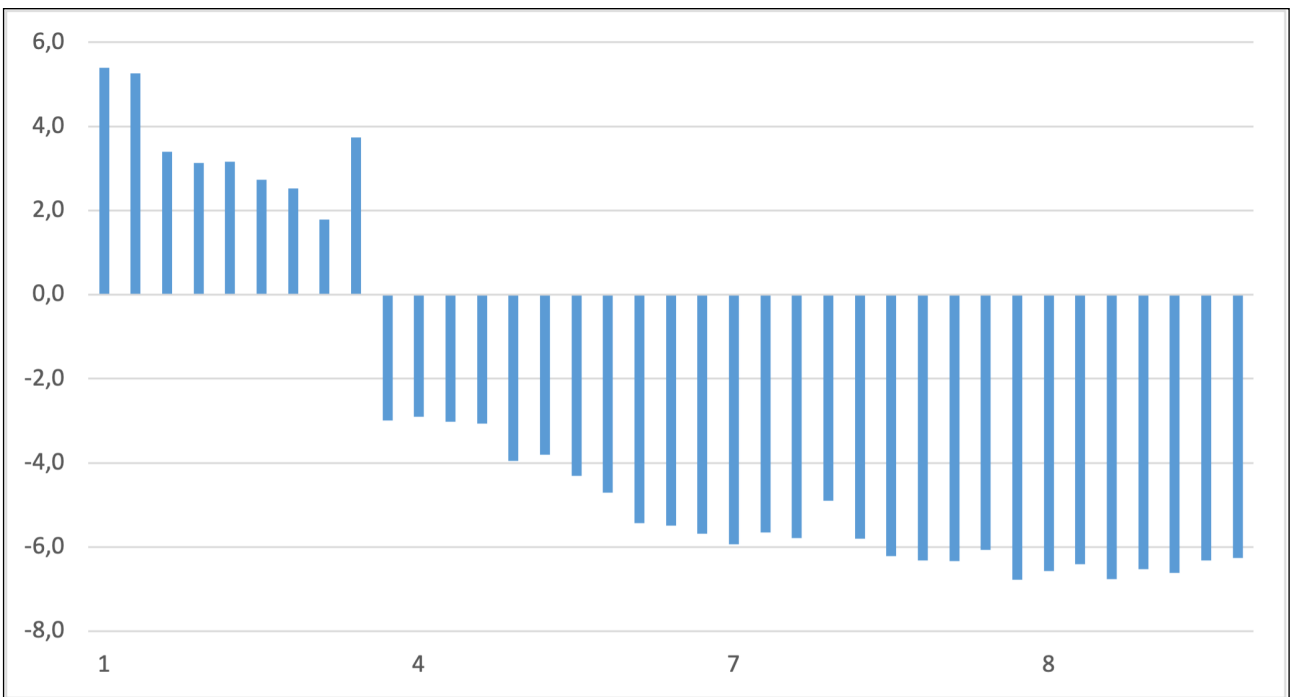


Abbildung 37: Unter- und Überschätzungen bei Kombination beider Modelle aus dem Jahr 2020 in Stunden. Der x-Achsenabschnitt gibt den angegebenen Konsumzeitpunkt in Stunden an.

5. Diskussion

5.1 Demographische Daten

5.1.1 Alter und Geschlecht

Die Analyse der Ergebnisse zeigt, dass im Straßenverkehr der überwiegende Teil der Cannabiskonsumenten männlich ist. Zwischen den Jahren 2019 und 2020 gab es keinen auffälligen Unterschied im Anteil der männlichen Konsumenten (93,5 % vs. 93,9 %). Dies unterstreicht die These, dass Männer aufgrund ihrer höheren Risikobereitschaft möglicherweise eher zu „Drogenfahrten“ neigen als Frauen. Zusätzlich neigen Männer eher dazu, Drogen zu konsumieren, auch in Situationen, die hohe Verantwortung erfordern, wie beispielsweise während oder unmittelbar vor dem Autofahren. Studien von Decher sowie Harris und Jenkins haben Geschlechtsunterschiede in der Risikobereitschaft nachgewiesen, wobei Frauen eher risikoaverses Verhalten in Bereichen wie Glücksspiel, Gesundheit, Freizeitaktivitäten und sozialen Aspekten zeigen [20,38]. Die höhere Risikobereitschaft bei Männern könnte dazu führen, dass Männer sich öfters „high“ hinter das Steuer setzen. Durch die cannabisbedingte Selbstüberschätzung wird angenommen, dass die Fahrtüchtigkeit erhalten ist, beziehungsweise die Gefahr, während der Fahrt angehalten und kontrolliert zu werden, als sehr gering kalkuliert wird, besonders wenn der Fahrweg bekannt ist. Ähnliche Erkenntnisse wurden bereits in der Studie von Schrammel et al. bei Autofahrern im Zusammenhang mit Alkoholkonsum gefunden [93]. Neben dem deutlichen Geschlechtsunterschied zeigte sich in der Untersuchung auch ein Unterschied im Alter, wobei das Durchschnittsalter der Männer etwas niedriger war als das der Frauen (30 Jahre vs. 32 Jahre). Weiterhin fällt die Altersspanne der Cannabiskonsumenten bei den Männern größer aus als bei den Frauen. Werden die Altersgruppen innerhalb der Geschlechter beurteilt, kann festgestellt werden, dass sowohl die männlichen als auch die weiblichen 20- bis 30-Jährigen (44,2 % und 37,1 %) am häufigsten zu Cannabis griffen und im Straßenverkehr auffällig waren. Dies lässt sich durch die allgemein hohe Prävalenz des Cannabiskonsums bei jungen Erwachsenen zwischen 18 und 25 Jahren (42,5 %) erklären, wie im Drogen- und Suchtbericht aus dem Jahr 2019 festgestellt wurde [22].

Eine Studie aus Spanien von Alvarez et al. aus dem Jahr 2007, in der Personen im Alter von 14 bis 70 Jahren zu ihrem Cannabiskonsum und zu eigenen Vorfällen von Fahrten unter Cannabiseinfluss befragt wurden, zeigte vermehrte Cannabisfahrten bei Personen im Alter von 20 bis 29 Jahren [1]. Dies könnte einerseits darauf zurückzuführen sein, dass diese Altersgruppe weniger Erfahrung und Sicherheit im Straßenverkehr hat als ältere Personen. Andererseits könnte die Altersspanne von 20 bis 29 Jahren durch Studium oder die Anfangsjahre des Berufslebens geprägt sein, in denen ein lockerer Umgang mit dem Cannabiskonsum herrscht. Das könnte die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass sich besonders junge Menschen unter Cannabiseinfluss an das Steuer setzen. Im Gegensatz dazu haben ältere Menschen möglicherweise bereits ein gefestigtes Umfeld, wie Beruf, Partnerschaft oder Familie, in denen eine erwachsenere Rolle eingenommen wird, sodass weniger Motivation für den Drogenkonsum gezeigt wird [82].

Dies könnte somit den geringen Anteil von knapp 3,0 % bzw 4,1 % bei den männlichen und 4,1 % bzw. 5,9 % bei den weiblichen Cannabiskonsumern über 50 Jahre erklären. Unsere Ergebnisse decken sich mit den Erkenntnissen aus der Umfrage von Tossman, in der im Jahr 2006 mithilfe der 12-Monats-Prävalenz gezeigt werden konnte, dass der Cannabiskonsum bis zum 23. Lebensalter zunimmt und danach stetig abnimmt [104].

5.1.2 Geographische Auswertung

Ordnungswidrigkeiten im Stadtgebiet Köln machten sowohl im Jahr 2019 als auch im Jahr 2020 mit etwa 32,8 % bzw. 30,8 % aller festgestellten Cannabiskonsumfälle den größten Anteil aus. Die geografische Bedeutung als Großstadt und die hohe Einwohneranzahl spielen dabei eine entscheidende Rolle. Die Kombination einer hohen Bevölkerungsdichte in Großstädten oder Ballungsräumen und einer vermehrten polizeilichen Kontrolldichte führt proportional zu einer erhöhten absoluten Zahl von Konsumenten, die durch Behörden in diesem Gebiet erfasst werden [23,59,87]. Zudem ist der Zugang zu Drogen in Großstädten oft einfacher als in ländlichen Regionen, da Großstädte als Knotenpunkte im Drogenhandelsweg fungieren und somit ein erhöhtes Angebot besteht [87,105]. Da Nordrhein-Westfalen an die Niederlande grenzt, kann angenommen werden, dass der Transport und die Verfügbarkeit von Cannabis in diesem Bereich erleichtert sind. Menschen aus ländlichen Regionen sind hingegen oft auf das Auto als Transportmittel angewiesen, aufgrund ihres Berufsstandorts und anderer Freizeitaktivitäten in größeren Städten. Aufgrund der häufigeren Nutzung des Autos könnte die Wahrscheinlichkeit, unter Drogeneinfluss kontrolliert zu werden, daher höher sein [111]. In unserer Auswertung spiegelt sich dieses Bild in absoluten Zahlen nicht wider, da der Raum Köln in beiden Jahren mit 987 bzw. 927 Fällen den größten Anteil an Straßenverkehrsteilnehmern unter Cannabiseinfluss ausmachte. Es ist jedoch zu beachten, dass in unserem Untersuchungsgut nur die Einsendungsbehörde angegeben ist, d.h., in welcher Region der Autofahrer kontrolliert wurde. Bezüglich der Beschuldigten bzw. Betroffenen sind daher keine Informationen über die Meldeadresse bekannt. Daher könnte ein beträchtlicher Anteil der Fälle in den Ergebnissen aus dem Raum Köln enthalten sein, bei denen die Meldeadresse außerhalb von Köln liegt und die bei der Ein- oder Ausfahrt in Köln kontrolliert wurden. Eine weitere Erklärung für die geographische Verteilung der Fälle wäre, dass durch Personen, die aufgrund der ländlichen Wohnsituation mehr auf das Auto angewiesen sind, die Gefahr des Führerscheinsverlustes als zu hoch angesehen wird und deshalb seltener unter Drogeneinfluss am Straßenverkehr teilgenommen wird.

5.2 Angaben zu den Konzentrationen der Cannabinoide

5.2.1 Häufigkeiten der THC- und THC-COOH-Konzentrationen

Die Verteilung der THC- und THC-COOH-Werte zeigt gemäß den Abbildungen in beiden Jahren ein ähnliches Muster (Abbildung 14 bis 17). Im Jahr 2019 und 2020 befanden sich die meisten Fälle (20,5 % und 17,7 %) im THC-Wertebereich zwischen 5 und 9,9 ng/mL. In beiden Jahren erstreckte sich die prozentuale Spanne der THC-Werte von 0,1 bis 19,9 ng/mL etwa zwischen 14 % und 21 % aller Fälle. Es ist jedoch bemerkenswert, dass in beiden Jahren ein geringer Rückgang im THC-Wert von 2 bis 2,9 ng/mL zu verzeichnen ist, gefolgt von einem Anstieg im anschließenden Bereich von 5 bis 9,9 ng/mL. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die ersten Aufteilungen bis 2,9 ng/mL in Schritten von 1 ng/mL erfolgten und die übrigen THC-Werte in größere Intervalle eingeteilt wurden. Die geringsten Anteile in beiden Jahren entfielen auf Fälle, bei denen kein THC im Blut nachgewiesen wurde (1,8 % und 3,0 %). Nach dem THC-Wertebereich von 10 bis 19,9 ng/mL war in beiden Jahren ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen. Der Anteil von THC-Werten ab 20 ng/mL betrug im Jahr 2019 5,4 % und im Jahr 2020 9,1 %. THC-Werte von 20 ng/mL und höher sind - insbesondere unter Berücksichtigung eines zeitlichen Abstands zwischen polizeilicher Kontrolle und Blutentnahme - selten. Solche hohen Konzentrationen sind daher nur bei sehr intensivem oder kurz zurückliegendem Konsum zu erwarten, da THC aufgrund seiner Pharmakokinetik nach der 1. Ordnung der Elimination in den ersten Stunden rasch abgebaut wird [33,45,80]. Bezüglich der THC-COOH-Werte wurden zur Kategorisierung Grenzen von 5,0 und 75 ng/mL angewendet. Die geringsten Anteile in beiden Jahren - 3,6 % im Jahr 2019 und 3,1 % im Jahr 2020 - entfielen auf THC-COOH-Werte unterhalb von 5 ng/mL. Die restlichen THC-COOH-Werte stellten in beiden Jahren die größeren Anteile dar, wobei der größte Anteil der THC-COOH-Werte von 5 bis 74,9 ng/mL im Jahr 2019 bei 53,4 % und im Jahr 2020 bei 49,7 % lag.

5.2.2 Mittel-, Medianwerte und Spanne der Cannabinoidkonzentrationen

Ein deutlicher Unterschied zwischen den Jahren 2019 und 2020 zeigt sich bei der Betrachtung der Mittel-, Median- sowie Maximal- und Minimalwerte, wobei sämtliche Werte im Jahr 2020 höher ausfielen als im Jahr 2019. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte im weltweiten Ausbruch des SARS-CoV-2 Ende 2019 und dessen Erklärung zur Pandemie Anfang 2020 liegen. Während der Phasen strenger Isolation und „Lockdowns“ im Jahr 2020 könnten betroffene Personen in Deutschland vermehrt dazu geneigt haben, Drogen wie Cannabis zu konsumieren, möglicherweise als Bewältigungsmechanismus für die psychischen Belastungen. Auch die erhöhte Freizeit und Flexibilität zu Hause während dieser Zeit könnten zu einem verstärkten Cannabiskonsum beigetragen haben. In einer deutschen Online-Befragung im Jahr 2020 von Kamphausen et al., an der 1146 Personen teilnahmen, konnte ausgewertet werden, dass der Konsum von Drogen, speziell die Frequenz des Cannabiskonsums, während der Pandemie, besonders in den Phasen der „Lockdowns“ Ende 2020, zugenommen hat [52].

Andererseits konnte in Studien von Estevez-Danta et al. und Been et al., in denen das Abwasser in Städten Spaniens, Portugals, Belgiens, Italiens und den Niederlanden auf Metabolite diverser Drogen untersucht wurde, kein wesentlicher Anstieg eines Cannabiskonsums während der Pandemie belegt werden [5,25]. In Bezug auf die Maximalwerte beider Jahre fällt auf, dass diese ausschließlich bei Männern erreicht wurden - THC 104 ng/mL im Jahr 2019 und THC 107 ng/mL im Jahr 2020. Frauen zeigten geringere Maximalwerte mit THC 57 ng/mL im Jahr 2019 und THC 70 ng/mL im Jahr 2020, wie in den Tabellen 5 und 7 dargestellt wird. Basierend auf den Erkenntnissen von Decher, Harris und Jenkins könnte die höhere Risikobereitschaft von Männern dazu führen, dass sie tendenziell größere Mengen Drogen, wie beispielsweise Cannabis, konsumieren [20,38]. Die Pharmakokinetik von Cannabis ist zudem stark von der Körperkonstitution, dem Gewicht, dem Geschlecht, dem Fettanteil und der individuellen Aktivität der abbauenden Enzyme abhängig. Die THC-Mittelwerte der Ordnungswidrigkeiten beider Jahre waren im Vergleich zu den THC-Mittelwerten der Straßenverkehrsdelikte nach § 315c/§ 316 - im Jahr 2019 THC 6,2 ng/mL zu 5,6 ng/mL und im Jahr 2020 THC 7,7 ng/mL zu 6,5 ng/mL - höher (Tabelle 4 und 6).

Dies könnte darauf hinweisen, dass regelmäßige Konsumenten tendenziell höhere THC-Konzentrationen aufweisen, da sie häufig höhere Dosen konsumieren. Dennoch könnten sich regelmäßige Konsumenten trotz höherer THC-Konzentrationen als fahrtüchtig einschätzen. Es ist auch möglich, dass regelmäßiger Konsum zu kumulierten THC-Werten führt, wenn der Abbau im Organismus noch nicht abgeschlossen ist. Dies könnte die Vermutung unterstützen, dass Personen, die aufgrund von Ordnungswidrigkeiten - Fahren unter Cannabiseinfluss, jedoch ohne körperliche Auffälligkeiten oder Fahrfehler - polizeilich kontrolliert wurden, eher Dauerkonsumenten sind im Vergleich zu Personen, die Fahrfehler begehen und - ohne Gewöhnung - auch bei niedrigeren Konzentrationen beeinträchtigt sein können. Zu beachten ist aber, dass in unserem Datensatz Gelegenheitskonsumenten in Relation sowohl bei den Ordnungswidrigkeiten als auch bei den Straßenverkehrsdelikten den größten Anteil darstellen (im Jahr 2019 23,3 % und 57,7 % bzw. im Jahr 2020 24,0 % und 53,4 %).

5.3 Deliktarten

Wird die Anzahl der Ordnungswidrigkeiten nach § 24a und die Anzahl der Straßenverkehrsdelikte nach § 315c/§ 316 verglichen, so wurden gemäß der Polizeiprotokolle der Jahre 2019 und 2020 ein Großteil der insgesamt 6018 Fälle als Ordnungswidrigkeiten nach § 24a registriert. In beiden Jahren kam es zu einem Verhältnis von ca. 70/30 Prozent. Dies könnte teilweise darauf zurückzuführen sein, dass Dauerkonsumenten eine höhere Toleranz gegenüber den Wirkungen von Cannabis haben als gelegentliche Konsumenten. Dauerkonsumenten empfinden sich nach dem Konsum früher wieder als fahrtüchtig. Darüber hinaus dauert es bei Dauerkonsumenten aufgrund des sogenannten Residualwerts deutlich länger, bis die THC-Konzentration im Blutserum unter 1 ng/mL absinkt.

Aufgrund des aktuellen Grenzwertes von 1 ng/mL THC im Blutserum besteht somit für Dauerkonsumenten ein erhöhtes Risiko, eine Ordnungswidrigkeit zu begehen, was den höheren Anteil an Ordnungswidrigkeiten erklären könnte. Jedoch kann dies nicht als alleiniger Grund für den deutlich größeren Anteil an Ordnungswidrigkeiten betrachtet werden. Hier spielt sicherlich auch die hohe Überprüfungsdichte durch die Polizei eine Rolle. Die Polizeibeamten werden in der Erkennung drogenspezifischer Anzeichen geschult und führen präventive Kontrollen durch, um Autofahrer zu überprüfen, bei denen ein Drogenkonsum vermutet wird, noch bevor Fahrfehler oder Unfälle auftreten [23,59].

5.4 Grenzwerte

Die Analyse der Cannabiskonsumfälle erfolgte unter Berücksichtigung verschiedener Grenzwerte für den THC-Gehalt im Blutserum, nämlich dem aktuellen Grenzwert von 1,0 ng/mL, einem vorgeschlagenen Grenzwert von 3,0 ng/mL sowie einem von der Partei Die Linke empfohlenen Grenzwert von 10,0 ng/mL [10,109]. Nach dem aktuellen Grenzwert wiesen in beiden Jahren rund 80 % aller Personen mindestens einen THC-Blutwert von 1,0 ng/mL auf. Davon begingen jeweils 57,1 % im Jahr 2019 und 57,2 % im Jahr 2020 Ordnungswidrigkeiten. Der restliche Anteil, 22,9 % im Jahr 2019 und 23,7 % im Jahr 2020, waren Straßenverkehrsdelikte. Angesichts der bisherigen „Null-Toleranz-Politik“ in Deutschland und der Pharmakokinetik von Cannabis ist es nicht überraschend, dass viele Personen trotz möglicher Fahrtüchtigkeit eine Ordnungswidrigkeit nach § 24a begehen könnten. Deshalb stellt sich die Frage, ob der Grenzwert von 1,0 ng/mL THC im Blutserum weiterhin ein angemessener Richtwert für die Sicherheit des Straßenverkehrs darstellt. Auch der Bezug auf die Pharmakokinetik und der Pharmakodynamik von Cannabis, besonders die unterschiedliche Kinetik von gelegentlichen versus regelmäßigen Konsumenten, die auch noch Tage nach einem Konsum einen „Residualwert“ von über 1,0 ng/mL THC im Blutserum aufweisen können, zeigt, dass der aktuelle Grenzwert kritisch diskutiert wird. Aufgrund einer möglichen zukünftigen Legalisierung von Cannabis wird der aktuelle Grenzwert hinsichtlich der Sinnhaftigkeit in Kombination mit der Gewährleistung der Straßenverkehrssicherheit im Bundestag und im Bundesgerichtshof kritisch hinterfragt [109]. An dieser Stelle muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass ein veränderter rechtlicher Status von Cannabis nicht die Wirkung von THC im Straßenverkehr verändert.

Käme es durch den Bundesgerichtshof zu einer Anhebung des Grenzwertes auf 3,0 ng/mL THC im Blutserum, hätte sich bei der Datenlage aus den Jahren 2019 und 2020 im Institut für Rechtsmedizin in Köln folgendes Bild abgezeichnet:

In den Jahren 2019 und 2020 lägen dann noch 54,0 % und 58,1 % aller Cannabisfälle über dem geänderten höheren Grenzwert. Im Vergleich zum aktuellen Grenzwert wäre das eine relative Reduktion von 32,9 % im Jahr 2019 und 28,4 % im Jahr 2020. Werden nur die Ordnungswidrigkeiten betrachtet, so käme es zu einer absoluten Reduktion der Ordnungswidrigkeiten von 18,5 Prozentpunkten im Jahr 2019 und 15,8 Prozentpunkten im Jahr 2020.

Relativ gesehen wäre das eine relative Reduktion von knapp einem Drittel (32,4 %) im Jahr 2019 und rund einem Viertel (27,6 %) im Jahr 2020 an Personen, die damit einer Ordnungswidrigkeit entgehen würden.

Nach Ansicht der Partei Die Linke wäre ein Grenzwert von 10,0 ng/mL THC im Blutserum im Straßenverkehr angemessen [10,109]. Im Jahr 2019 würden 18,6 % aller Cannabisfälle diesen Grenzwert erreichen oder überschreiten. Somit käme es in Bezug auf den aktuellen Grenzwert von 1,0 ng/mL THC im Blutserum zu einer absoluten Reduktion von 61,9 Prozentpunkten. Relativ gesehen wäre das eine Reduktion von 76,9 %. Im Jahr 2020 käme es zu einer absoluten und relativen Reduktion von 56 Prozentpunkten und 69,0 %. Werden lediglich die Ordnungswidrigkeiten analysiert, käme es ebenfalls zu einer deutlichen Erhöhung der Anzahl von Fällen, die nicht zu einer Ahndung führen würden. Nur noch 13,4 % im Jahr 2019 und 18,9 % im Jahr 2020 würden als Ordnungswidrigkeit geahndet werden. Im Vergleich zum aktuellen Grenzwert wäre das eine absolute Reduktion von 43,7 Prozentpunkten im Jahr 2019 und 38,3 Prozentpunkten im Jahr 2020. Dies entspreche einer relativen Reduktion von 76,5 % der Fälle im Jahr 2019 und 67,0 % der Fälle im Jahr 2020, die einer Ordnungswidrigkeit entgehen würden und somit „legal“ auf den Straßen fahren dürften.

Aus der Abbildung 5 ist zu entnehmen, dass Deutschland neben der Schweiz zu den europäischen Ländern gehört, die eine sogenannte „Null-Toleranz-Politik“ verfolgen. Hier werden analytische Grenzwerte verwendet, ab der eine Ordnungswidrigkeit aufgrund einer möglichen Fahruntüchtigkeit gegeben ist. Die Schweiz verwendet aktuell einen THC-Grenzwert von 1,5 ng/mL THC im Vollblut bzw. 3,0 ng/mL THC im Blutserum mit einem Vertrauensbereich von ± 30 % in der Messung. Andere Länder, darunter die Niederlande, Norwegen und Kanada, setzen auf evidenzbasierte Abstufungssysteme. In Norwegen werden medizinische Experten im Ministerium für Verkehr und Kommunikation konsultiert, um THC-Grenzwerte mit wissenschaftlichem Hintergrund festzulegen. Norwegen verwendet drei THC-Grenzwerte, die an BAK-Werten angelehnt sind. Hier wird im Vollblut ein THC-Wert von 1,3 ng/mL wie 0,2 ‰ BAK, ein THC-Wert von 3 ng/mL wie 0,5 ‰ BAK und ein THC-Wert von 9 ng/mL wie 1,2 ‰ BAK geahndet. Der THC-Grenzwert in den Niederlanden beträgt im Blutserum 5 ng/mL THC und im Vollblut 3 ng/mL THC. Dieser Grenzwert beruht auf verschiedenen epidemiologischen Studien und beinhaltet eine Herabsetzung auf 1 ng/mL THC im Vollblut bei einem festgestellten Mischkonsum. Sowohl die Niederlande als auch Norwegen haben somit eine mögliche verstärkte Beeinträchtigung der Fahrtüchtigkeit durch die Kombination von Cannabis mit einer weiteren psychoaktiven Substanz in der Grenzwert-Regelung berücksichtigt [9].

Insbesondere der durch Die Linke vorgeschlagene Grenzwert von 10,0 ng/mL THC im Blutserum ist sehr kritisch zu hinterfragen und sollte mit Skepsis betrachtet werden, da dadurch eine erhebliche Anzahl von Personen, die aktuell wegen einer Ordnungswidrigkeit geahndet wurden, legal auf den Straßen fahren und die Straßenverkehrssicherheit erheblich gefährden könnten.

Bei einer Anhebung des Grenzwertes auf 3,0 ng/mL THC im Blutserum würde ebenfalls ein großer Anteil von knapp einem Drittel der bisher als Ordnungswidrigkeiten geahndeten Autofahrten als „legal“ eingestuft werden. Diese Ergebnisse können mit verschiedenen Studien verglichen werden, die eine mögliche Korrelation von Autofahrten unter Cannabiseinfluss und Unfallrisiko bzw. einer Gefährdung der Straßenverkehrssicherheit untersucht haben.

Dabei ergab eine Studie von Preuss et al. aus dem Jahr 2021, dass das Odds Ratio besonders bei einer THC-Konzentration von 10 ng/mL bei 10 liegt und damit ein erhöhtes Unfallrisiko mit deutlicher Gefährdung der Straßenverkehrssicherheit bestehen würde [88].

Martin et al. haben im Jahr 2017 bei einer THC-Konzentration zwischen 3 ng/mL und 5 ng/mL im Blut ein Odds Ratio von 7,4 errechnet [76]. In dieser Studie ist jedoch zu beachten, dass die THC-Konzentration im Blut mit dem Faktor 2 zu multiplizieren ist, um eine nahezu äquivalente THC-Konzentration im Blutserum zu erhalten. In Bezug auf regelmäßige Konsumenten konnten Pulido et al. in einem spanischen Survey mit ca. 28.000 Befragten zeigen, dass das Unfallrisiko bei einem regelmäßigen Konsum (OR 1,6) erhöht ist [89].

Andererseits haben Brubacher et al. im Jahr 2019 bei Fahrern mit einer THC-Konzentration von 5 ng/mL THC im Blutserum kein erhöhtes Unfallrisiko feststellen können. Erst ab Konzentrationen von über 5 ng/mL THC im Blutserum ergab sich ein Odds Ratio von 1,74 [8]. In einer Studie von Tank et al. haben cannabiserfahrene Probanden einen Fahrsimulatortest vor, unmittelbar danach und drei bzw. sechs Stunden nach dem Konsum von Cannabis durchgeführt. Hier zeigte sich, dass die Fahrsicherheit unmittelbar nach dem Konsum eingeschränkt war. Drei Stunden nach dem Konsum waren keine Unterschiede zur „Nüchternfahrt“ festzustellen. Erst sechs Stunden nach dem Konsum waren wieder psychophysische Defizite auffällig [101]. Zu erwähnen ist auch der verzögerte Zusammenhang von Plasmakonzentration und Effekt, welcher in den Studien von Barnett et al. und Cocchetto et al. mithilfe einer Hysteresiskurve beschrieben wurde [4,15]. Diese Faktoren könnten die unterschiedlichen Ergebnisse der genannten Studien bezüglich der THC-Konzentration und der Auswirkung auf die Fahrsicherheit erklären. Eine Grenzwert-Regelung ist somit abhängig von der individuellen Pharmakokinetik, dem Konsummuster, dem Zusammenhang der Plasmakonzentration und Wirkung sowie der Korrelation von Cannabiseinfluss und dem Unfallrisiko. Deshalb sind weitere Studien notwendig, um den vollständigen Einfluss von THC und dessen Metabolite auf die Straßenverkehrssicherheit zu verstehen und einen adäquaten Grenzwert für die Straßenverkehrsordnung ermitteln zu können. Außerdem könnten Abstufungssysteme, die bereits in Kanada, Norwegen und den Niederlanden evidenzbasiert implementiert wurden, als Vorbild oder zur Unterstützung bei der Entwicklung einer „gerechteren“ Grenzwert-Regelung in Deutschland dienen [9].

5.5 Konsummuster

5.5.1 Verteilung nach Konsummuster

Das Konsummuster lässt sich anhand einer THC-COOH-Grenze von 75 ng/mL (nach vorheriger Ankündigung einer Blutprobenentnahme) oder 150 ng/mL (bei spontanen Blutentnahmen während einer polizeilichen Verkehrskontrolle) klassifizieren, wie von Daldrup vorgeschlagen und erörtert [16]. Dennoch ist bei der Interpretation dieser Konsumeinstufung Vorsicht geboten, da selbst bei Unterschreitung dieser THC-COOH-Grenzen ein regelmäßiger Konsum nicht ausgeschlossen werden und als möglicher erheblicher Konsum, verbunden mit dem Verdacht auf regelmäßigen Konsum, gewertet werden kann [16].

Bei Anwendung der Grenze von 150 ng/mL THC-COOH zeigte sich in Bezug auf die Verteilung des Konsummusters in den Jahren 2019 und 2020 ein höherer Anteil der Personen, die als gelegentliche Konsumenten eingestuft wurden. Das Verhältnis war in beiden Jahren knapp 4:1. Bei einem Vergleich der beiden Jahre war lediglich ein geringfügiger Anstieg der Rate an regelmäßigen Konsumenten im Jahr 2020 um 3,8 Prozentpunkte festzustellen (18,5 % auf 22,3 %). Dieser Anstieg könnte durch die Studie von Kamphausen et al. erklärt werden, die mittels einer Online-Befragung gezeigt hat, dass die Konsumfrequenz in Deutschland während der Lockdown-Phasen im Jahr 2020 angestiegen ist. Dabei stiegen die Konsumhäufigkeit der regelmäßigen Konsumenten und die allgemeine Konsumententwicklung während der Pandemie moderat an [52]. Die Verteilung des Konsummusters in unserem Datensatz kann außerdem mit den Ergebnissen der Studien von Tossmann und Kraus et al. gut verglichen werden, da 22,9 % der befragten Personen einen regelmäßigen Cannabiskonsum - mindestens 20 Tage im Monat - angegeben haben. Der Anteil der regelmäßigen Konsumenten in unseren Ergebnissen betrug im Jahr 2019 18,5 % bzw. im Jahr 2020 22,3 % [60,104].

5.5.2 Deliktarten und Konsummuster

Die Auswirkungen eines Cannabiskonsums können bei gelegentlichen Konsumenten stärker ausgeprägt sein als bei regelmäßigen Konsumenten, die aufgrund ihrer häufigeren Konsumpraxis möglicherweise eine höhere Toleranz entwickeln und teilweise weniger beeinträchtigt sind [21,33]. Außerdem können gelegentliche Konsumenten im Vergleich zu regelmäßigen Konsumenten auch bei niedrigeren THC-Werten psychophysische Defizite zeigen [21]. Hinsichtlich der Deliktarten und des Konsummusters lässt sich für beide analysierten Jahre feststellen, dass sowohl bei den Ordnungswidrigkeiten als auch bei den Straßenverkehrsdelikten gelegentliche Konsumenten in absoluten und relativen Zahlen häufiger vertreten sind. Aufgrund ihrer geringeren Toleranz gegenüber Cannabis und der stärkeren subjektiven Wahrnehmung der Rauschwirkung könnten gelegentliche Konsumenten häufiger und auffälliger im Straßenverkehr sein. Es ist jedoch zu beachten, dass nach Studien von Tossmann und Kraus et al. ein gelegentlicher Konsum häufiger festgestellt wird als ein regelmäßiger Konsum [60,104].

Die hohe Anzahl an gelegentlichen Konsumenten aus unserem Untersuchungsgut spiegelt somit das Konsumverhalten der Bevölkerung gut wider.

5.5.3 Geschlecht und Konsummuster

Bei der Auswertung des Konsummusters (gelegentlich/regelmäßig) in Bezug auf das Geschlecht zeigt sich, dass innerhalb der Geschlechter in beiden Jahren kein deutlicher Unterschied im Konsummuster festzustellen ist. Unter Anwendung der THC-COOH-Grenze von 150 ng/mL nach Daldrop werden die meisten Personen als gelegentliche Konsumenten eingestuft [16]. Der Anteil der regelmäßigen Konsumenten ist bei den Männern im Vergleich zum Vorjahr um etwa 3,6 Prozentpunkte angestiegen, während der Anteil bei den Frauen nahezu unverändert blieb (von 17,5 % auf 21,1 % und von 1,1 % auf 1,2 %). In Bezug auf den Anteil innerhalb der Geschlechter kommt in beiden Jahren ein regelmäßiger Konsum bei den Männern - 18,7 % vs. 16,5 % im Jahr 2019 und 22,4 % vs. 19,5 % im Jahr 2020 - marginal häufiger vor. Diese Ergebnisse bestätigen die Schlussfolgerung aus der Studie von Tossmann und Kraus et al., dass Männer im Vergleich zu Frauen vermehrt Cannabis konsumieren und in Bezug auf Frequenz, aktuelles Konsummuster und Erfahrung stärker vertreten sind [60,104].

5.6 Konsumverhalten und Grenzwerte bei Ordnungswidrigkeiten

Angesichts einer möglichen zukünftigen Cannabislegalisierung in Deutschland wird der analytische THC-Grenzwert von 1,0 ng/mL THC im Blutserum kontrovers diskutiert [109]. Inhalt ist eine mögliche Benachteiligung chronischer Konsumenten, bei denen sich THC über einen längeren Zeitraum im Körper anreichert. Es wird vermutet, dass dadurch vermehrt regelmäßige Raucher bei polizeilichen Kontrollen aufgrund höherer THC-Werte auffallen und sanktioniert werden könnten, obwohl bei vielen eine Fahrtüchtigkeit gegeben wäre.

Im Jahr 2019 lagen die THC-Konzentrationen bei allen (100 %) als chronische Konsumenten eingestuften Personen (N=383, unter der Anwendung der Grenze von 150 ng/mL THC-COOH) oberhalb des Grenzwertes von 1,0 ng/mL THC im Blutserum. Im Gegensatz dazu lagen nur bei 76,8 % (N=1333) der als gelegentliche Konsumenten eingestuften Personen die Konzentrationen oberhalb des Grenzwertes. In dem für Köln generierten Datenkollektiv für das Jahr 2019 würde eine Anhebung des aktuellen THC-Grenzwertes von 1,0 ng/mL auf 3,0 ng/mL THC im Blutserum bedeuten, dass nur rund 2,6 % (N=10) der chronischen, aber 54,6 % (N=947) der gelegentlichen Konsumenten aus dem Jahr 2019 einer Sanktion entgehen würden. Käme es zu einer Anhebung des Grenzwertes auf 10,0 ng/mL THC im Blutserum könnten 36,3 % (N=139) der chronischen und 90,8 % (N=1576) der gelegentlichen Konsumenten unter Cannabiseinfluss folgenlos am Straßenverkehr teilnehmen.

Im Jahr 2020 lagen alle THC-Konzentrationen von chronischen Konsumenten (N=482) oberhalb des Grenzwertes von 1,0 ng/mL THC im Blutserum. Bei den gelegentlichen Konsumenten waren es 77,1 % (N=1239). Bei einer Anhebung auf 3,0 ng/mL THC im Blutserum dürften rund ein Prozent (N=5) der chronischen und rund 52,1 % (N=837) der gelegentlichen Konsumenten ohne Sanktion ein Auto steuern, die zuvor oberhalb des Grenzwertes lagen. Bei 10,0 ng/mL THC im Blutserum wären es 24,9 % (N=120) Dauerkonsumenten bzw. 87,1 % (N=1400) Gelegenheitskonsumenten, die zusätzlich unter Cannabiseinfluss am Straßenverkehr teilnehmen dürften, ohne eine Ordnungswidrigkeit zu begehen. In Anbetracht der Ergebnisse aus beiden Jahren kann festgestellt werden, dass eine schrittweise Anhebung des aktuellen Grenzwertes auf zum Beispiel 3,0 ng/mL THC im Blutserum keinen relevanten Effekt für regelmäßige Konsumenten haben würde, da nur 2,6 % (N=10) bzw. 1,0 % (N=5) einer Sanktion entgehen würden. Stattdessen hätte eine Anhebung erhebliche Auswirkungen auf die Situation einer legalen Straßenverkehrsteilnahme bei gelegentlichen Konsumenten, die auch bei geringeren THC-Werten starke psychophysische Defizite aufweisen können. Bei einer Anhebung des aktuellen Grenzwertes käme es folglich eher zu einer möglichen stärkeren Gefährdung der Straßenverkehrssicherheit als zu einer Reduktion der Benachteiligung von regelmäßigen Konsumenten, da unter dem neuen Grenzwert viel mehr Gelegenheits- als Dauerkonsumenten unter Cannabiseinfluss am Straßenverkehr teilnehmen dürften.

5.7 Abschätzungen und Berechnungen der Konsumzeitpunkte

5.7.1 Eigene Angaben der Straßenverkehrsteilnehmer

Ein wesentlicher Faktor, der die Auswirkungen von Cannabiskonsum im Straßenverkehr beeinflusst, ist der Zeitpunkt des Konsums durch die betreffenden Personen. In den Daten der Jahre 2019 und 2020 gab nahezu die Hälfte der Straßenverkehrsteilnehmer während polizeilicher Kontrollen einen Konsumzeitpunkt an. Ein Großteil dieser Personen (75,1 % im Jahr 2019 und 73,6 % im Jahr 2020) gab an, dass ihr Konsumzeitpunkt etwa neun Stunden oder länger zurücklag. In den restlichen Fällen wurde ein Konsum innerhalb der letzten acht Stunden angegeben und in nur sechs Fällen im Jahr 2019 (0,4 %) bzw. in neun Fällen im Jahr 2020 (0,6 %) gaben die Personen einen „täglichen Konsum“ an. Da etwa 75 % der Probanden angaben, dass ihr Konsumzeitpunkt länger als neun Stunden zurückliegt, könnte dies darauf hindeuten, dass die Mehrheit der Konsumenten das Nachlassen der Cannabiseffekte und die subjektive Wiedererlangung der Fahrtüchtigkeit abwartet, bevor sie sich wieder ans Steuer setzen. Sofern die individuellen Angaben der Wahrheit entsprechen, könnte angenommen werden, dass die meisten Cannabiskonsumenten versuchen, ein gewisses Maß an Verantwortungsbewusstsein zu zeigen. Wie gut diese Angaben des Konsumzeitpunktes mit den bestimmten Konzentrationen an THC und dessen Abbauprodukten im Blutserum übereinstimmen, sollte mittels verschiedener Rechenmodelle geprüft werden.

5.7.2 Berechnungen mit den Modellen nach Huestis

Huestis konnte anhand der Plasmakonzentrationen von THC und THC-COOH zwei Modelle entwickeln, die es ermöglichen, den letzten Cannabiskonsumzeitpunkt bei Probanden abzuschätzen [44,46]. Tönnes hat auch eine Überprüfung der Zuverlässigkeit dieser Modelle durchgeführt, um festzustellen, ob diese sowohl für forensische als auch für zukünftige gerichtliche Anwendungen geeignet sind [103].

Die Auswertungen der Berechnungen für beide Jahre zeigten, dass etwa die Hälfte (48,9 % und 52,0 %) der Konsumzeitpunkte bei Modell I und etwa drei Viertel (75,8 % und 77,7 %) bei Modell II korrekt geschätzt wurden oder mit den von den Personen angegebenen Zeitpunkten übereinstimmten. Die Kombination beider Modelle führte zu einer höheren Zuverlässigkeit innerhalb der ersten acht Stunden, mit Werten von 87,3 % bzw. 89,4 % für die Jahre 2019 und 2020. Es ist wichtig zu beachten, dass diese Berechnungen nur die Angaben der Konsumzeitpunkte innerhalb der letzten acht Stunden berücksichtigten (N=331 für 2019 und N=367 für 2020). Die Zuverlässigkeit beider Modelle sank jedoch deutlich ab, wenn der Zeitpunkt des Konsums ca. acht Stunden zurücklag (Modell I: 31,3 % und Modell II: 43,8 % im Jahr 2019). Auffällig war eine höhere Zuverlässigkeit bei der Anwendung von Modell II im Vergleich zu Modell I. Eine wichtige mathematische Variable bei diesem Vergleich war die Berücksichtigung der THC-COOH-Konzentration in Modell II, während in Modell I nur die THC-Konzentration einbezogen wurde. Um die Übereinstimmung der Berechnungsmodelle besser zu beurteilen, wurde die Differenz zwischen den errechneten Konsumzeitpunkten und den von den Straßenverkehrsteilnehmern angegebenen Konsumzeitpunkten gebildet. Dies führte zu Überschätzungen, wenn der errechnete Zeitpunkt im Vergleich zum angegebenen Zeitpunkt zu lang war, und zu Unterschätzungen, wenn er zu kurz war.

Für das Jahr 2019 zeigte Modell I tendenziell eine Überschätzung der Konsumzeitpunkte bei Angabe eines zeitnahen Konsums (< 3 Stunden), während bei einer Angabe von 3 Stunden oder mehr die Konsumzeitpunkte eher unterschätzt wurden. Insgesamt wurden bei der Berücksichtigung der Konsumangaben 42,9 % der Fälle unterschätzt und 7,6 % überschätzt. Modell II wies bei der Berechnung der Konsumzeitpunkte von Personen, die den Konsum innerhalb von 1 Stunde angaben, eine hohe Abweichung von 50,5 % auf. Die Mittelwerte der Unter- und Überschätzungen - die Zeitdifferenz des errechneten Konsumzeitpunktes und des angegebenen Konsumzeitpunktes in Stunden - lagen bei -3,5 Stunden und +5,8 Stunden. Bei Modell II wurden die Konsumzeitpunkte in den ersten 2 Stunden eher überschätzt, während die Konsumzeitpunkte ab 3 Stunden eher unterschätzt wurden. Insgesamt wurden bei Anwendung von Modell II 26 Fälle (7,9 %) unterschätzt und 52 Fälle (15,7 %) überschätzt. Die Mittelwerte der Differenz hinsichtlich der Unter- und Überschätzungen lagen bei -4,7 Stunden und +2,6 Stunden. Bei der Kombination beider Modelle wurden 24 Fälle (7,3 %) unterschätzt und 16 Fälle (4,8 %) überschätzt. Die errechneten Mittelwerte der Differenz betragen hier -5,3 Stunden und +4,1 Stunden.

Auch im Jahr 2020 wurden die Konsumzeitpunkte beider Modelle in den ersten 2 Stunden eher überschätzt, während die Konsumzeitpunkte ab 3 Stunden unterschätzt wurden. Bei Anwendung von Modell I wurden insgesamt 157 Fälle (42,8 %) unterschätzt und 17 Fälle (4,6 %) überschätzt. Die Mittelwerte der Differenz betragen -3,6 Stunden und +4 Stunden. In Modell II wurden 31 Fälle (8,4 %) unterschätzt und 49 Fälle (13,4 %) überschätzt. Die Mittelwerte der Differenz betragen -4,8 Stunden und +3 Stunden. Auch im Jahr 2020 ergab sich bei Modell II eine hohe Abweichung, in der 48,2 % der Fälle, bei denen ein Konsum innerhalb von 1 Stunde angegeben wurde, falsch eingeschätzt wurden. Die Kombination beider Modelle ergab 28 (7,6 %) Unterschätzungen und 9 (2,5 %) Überschätzungen. Die Mittelwerte der Differenz betragen -5,4 Stunden und +3,5 Stunden. Toennes et al. konnten in ihrer Studie ebenfalls zeigen, dass die Zuverlässigkeit der Modelle mit der Zunahme des Konsumzeitpunktes abnimmt. Hier wurde angegeben, dass bei einem Konsum länger als acht Stunden vor dem Blutentnahmezeitpunkt 22,7 % der Konsumzeitpunkte falsch geschätzt wurden [103]. In unseren Berechnungen aus dem Jahr 2019 ergab sich nur noch eine Zuverlässigkeit von 31,3 % bei Modell I und 43,8 % bei Modell II. Im Jahr 2020 lag die Zuverlässigkeit vom Modell II bei Angabe eines Konsumzeitpunktes von genau acht Stunden bei gerade 54,3 %. Jedoch konnte mit den Ergebnissen aus der Studie von Toennes et al. festgestellt werden, dass bei Kombination beider Modelle eine hohe Zuverlässigkeit besteht (87,3 % bzw. 89,4 %). Außerdem wurden bei Kombination 94,1 % aller Konsumzeitpunkte richtig geschätzt, die aber nach acht Stunden deutliche Unsicherheiten aufweisen konnten. Anhand der Datenlage dieser Studie kann die Annahme von Toennes et al. bekräftigt werden. Auch hier wurde festgestellt, dass die Zuverlässigkeit bei der Kombination beider Modelle bei einem kurzen Abstand von Konsum und Blutentnahme sehr hoch ist, aber bei Angaben von Konsumzeitpunkten ab acht Stunden ungenau wird [103]. Wie in den Studien von Huestis et al., in denen die Berechnungen bei unmittelbarem inhalativen Konsum zu Überschätzungen führten, ergab sich in beiden Jahren ein ähnliches Bild [44,46]. Zusätzlich ist bei den Angaben der Konsumzeitpunkte anzunehmen, dass Probanden bei polizeilichen Kontrollen aufgrund von Scham- bzw. Schuldgefühlen eher einen länger zurückliegenden Zeitpunkt angeben. Aufgrund dessen sind die Selbstangaben der Konsumzeitpunkte und die Modellergebnisse vorsichtig zu interpretieren, während in Studien, wie zum Beispiel bei Huestis et al., genau festgelegte Angaben zum Konsumzeitpunkt, zur -menge und der Art und Technik des Konsums bekannt waren [44,46]. Diese Aspekte könnten die Ergebnisse für unseren Datensatz beider Jahre erklären, in dem die Konsumzeitpunkte innerhalb von acht Stunden durch Modell I nur zu 48,9 % bzw. 52,0 % und durch Modell II zu 75,8 % bzw. 77,7 % richtig eingeschätzt wurden. Daher sollte die Anwendung beider Modelle mit äußerster Vorsicht betrachtet werden, insbesondere in extrem kurzen Zeiträumen von weniger als einer Stunde bzw. bei Zeiträumen, die länger als acht Stunden zurückliegen. Im Kontext von Zeiträumen innerhalb der ersten acht Stunden zeigen insbesondere die Ergebnisse von Modell II eine hohe Zuverlässigkeit. Auch die Kombination beider Modelle könnte, unabhängig vom Konsummuster, in forensischen Untersuchungen innerhalb der ersten acht Stunden ausgezeichnete Ergebnisse liefern. Allerdings sind die Modelle derzeit noch nicht hinreichend entwickelt, um für gerichtliche Anwendungen verlässliche Resultate zu gewährleisten.

5.8 Limitationen

Da Cannabis in Deutschland weiterhin als illegale Droge eingestuft ist, gibt es nur begrenzte Möglichkeiten, Cannabis zu erwerben. Eine Möglichkeit wäre, es über internationale Grenzen, beispielsweise aus den Niederlanden, zu beziehen, da dort der Cannabiskonsum weniger strengen Vorschriften unterliegt. Eine weitere Option besteht darin, es über den Schwarzmarkt in Deutschland zu kaufen. Medizinisches Cannabis wird in der Regel nur selten ärztlich verordnet. Der Konsum von auf dem Schwarzmarkt erworbenem Cannabis in Deutschland birgt jedoch erhebliche Risiken für die Konsumenten, da keine genauen Informationen darüber vorliegen, woher das Produkt stammt, wie „rein“ es ist und ob es tatsächlich zu 100 % aus Cannabis besteht oder Substanzen enthält, die ähnliche Effekte wie Cannabis hervorrufen, wie beispielsweise synthetische Cannabinoide. Zudem ist der THC-Gehalt in illegal erworbenen Cannabisprodukten nicht bekannt. Diese Unsicherheiten müssen bei der Analyse der von den Beschuldigten bzw. Betroffenen angegebenen Mengen berücksichtigt und kritisch hinterfragt werden. Für die Analyse der geographischen Auswertung wurden die Standorte der einsendenden Behörde berücksichtigt. Da die einsendende Behörde nicht die Meldeadresse der Straßenverkehrsteilnehmer widerspiegelt, konnte in unserem Datensatz keine exakte geographische Herkunft der Fälle und Analyse in Bezug auf die jeweiligen Behörden erfolgen. Ein weiterer Aspekt betrifft die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der von den Beschuldigten bzw. Betroffenen angegebenen Konsumzeitpunkte. In den polizeilichen Dokumenten wurde lediglich der letzte Konsumzeitpunkt erfragt, ohne konkrete Angaben zur Frequenz oder Menge des vergangenen Konsums. Wenn ein Beschuldigter bzw. Betroffener nur den letzten Konsumzeitpunkt angibt, jedoch keine genauen Informationen über sein übriges vergangenes Konsumverhalten liefert, kann dies die Berechnungen des Konsumzeitpunktes stark beeinflussen, da es zur Akkumulation der Metaboliten führen und es zu Unter- beziehungsweise Überschätzungen der Zeitangaben resultieren kann. Außerdem kann der Cannabiskonsum hinsichtlich der Art und Technik von Person zu Person variieren. In einigen Fällen kam es auch zu einem Mischkonsum von Cannabis und einer weiteren psychoaktiven Substanz, sodass die Effekte von Cannabis je nach Mischkonsum verstärkt oder abgeschwächt worden sein könnten. Dadurch besteht theoretisch die Möglichkeit, dass die psychophysischen Auffälligkeiten der Personen in Bezug auf die THC-Konzentration im Blut stärker oder weniger stark ausgeprägt waren und damit die Einordnung der Fälle in die Kategorie Ordnungswidrigkeit/Straßenverkehrsdelikt ohne Mischkonsum möglicherweise anders erfolgt wäre und dies zumindest geringfügig einen Einfluss auf die Zuordnung der Fälle innerhalb dieser Auswertung gehabt hätte. Ein Einfluss auf die Konzentrationen an THC und dessen Abbauverhalten, die soziodemografischen Daten sowie die Konsumzeitpunkte lag dadurch jedoch nicht vor. In verschiedenen Studien zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der „Huestis-Formeln“ wurden bei Probanden genaue Vorgaben hinsichtlich des Konsummusters, der Konsumart, der Inhalationszeit pro Zug, der Haltedauer pro Zug, der Exhalationszeit pro Zug, der allgemeinen Cannabismenge, der gesamten Konsumzeit und der genauen Zeitpunkte der Blutentnahme gemacht.

Exakt diese Punkte sind jedoch bei den Straßenverkehrsteilnehmern der Jahre 2019 und 2020 nicht erfragt worden oder es wurden ungenaue Informationen übermittelt. Es konnten somit anhand der nachgewiesenen Konzentrationen an THC, THC-OH und THC-COOH keine Rückschlüsse auf die konsumierte Menge gezogen werden, jedoch konnten die hier zu bearbeitenden Fragestellungen unabhängig davon anhand des Probenkollektivs beantwortet werden.

6. Literaturverzeichnis

1. Álvarez FJ, Fierro I and Del Río MC. Cannabis and driving: results from a general population survey. *Forensic Science International* 2007; **170**(2-3): 111-116.
2. Anthony JC, Lopez-Quintero C and Alshaarawy O. Cannabis Epidemiology: A Selective Review. *Curr Pharm Des* 2017; **22**(42): 6340-6352.
3. Ashton CH. Pharmacology and effects of cannabis: a brief review. *Br J Psychiatry* 2001; **178**: 101-106.
4. Barnett G, Chiang C-WN, Perez-Reyes M and Owens S. Kinetic study of smoking marijuana. *Journal of pharmacokinetics and biopharmaceutics* 1982; **10**(5): 495-506.
5. Been F, Emke E, Matias J, et al. Changes in drug use in European cities during early COVID-19 lockdowns—A snapshot from wastewater analysis. *Environment international* 2021; **153**: 106540.
6. Blutalkohol Vol. 58 No. 3/2021. Gleichstellung von cannabis- und alkoholkonsumierenden Führerscheininhaberinnen und Führerscheinhabern. 2021.
7. Bondallaz P, Favrat B, Chtioui H, Fornari E, Maeder P and Giroud C. Cannabis and its effects on driving skills. *Forensic Science International* 2016; **268**: 92-102.
8. Brubacher JR, Chan H, Erdelyi S, et al. Cannabis use as a risk factor for causing motor vehicle crashes: a prospective study. *Addiction* 2019; **114**(9): 1616-1626.
9. Bucher B, Gerlach K, Frei P, Knoepfli K and Scheurer E. Bericht THC-Grenzwerte im Strassenverkehr - Eine Literaturanalyse. (Federal Office of Public Health, Bern, Switzerland, 2020). 2020.
10. Bundesarbeitsgemeinschaft Drogenpolitik der Linkspartei. Cannabis und Straßenverkehr.
11. Bundesministerium für Justiz. Strafgesetzbuch (StGB) § 316 Trunkenheit im Verkehr. https://www.gesetze-im-internet.de/stgb/___316.html (Zuletzt abgerufen am 24.05.2023).
12. Bundesministerium für Justiz. Straßenverkehrsgesetz (StVG) § 24a 0,5 Promille-Grenze. https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/___24a.html (Zuletzt abgerufen am 24.05.2023).
13. Bundesministerium für Justiz. Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr (Fahrerlaubnis-Verordnung - FeV) Anlage 4 (zu den §§ 11, 13 und 14) Eignung und bedingte Eignung zum Führen von Kraftfahrzeugen. https://www.gesetze-im-internet.de/fev_2010/anlage_4.html (Zuletzt abgerufen am 23.05.2023).
14. Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung. Die Drogenaffinität Jugendlicher in der Bundesrepublik Deutschland. Teilband illegale Drogen. 2004.
15. Cocchetto DM, Owens SM, Perez-Reyes M, DiGuseppi S and Miller LL. Relationship between plasma delta-9-tetrahydrocannabinol concentration and pharmacologic effects in man. *Psychopharmacology* 1981; **75**(2): 158-164.
16. Daldrup T. Cannabiskonsum und Fahreignung-Erfahrungen und Ergebnisse aus Nordrhein-Westfalen. 2021.
17. Daldrup T, Käferstein H, Köhler H and Musshoff F. Entscheidung zwischen einmaligem/gelegentlichem und regelmäßigem Cannabiskonsum. *Blutalkohol* 2000; **37**(1).

18. Daldrup T and Meininger I. Kapitel 11-Begutachtung der Fahrtuechtigkeit unter Cannabis im Strafverfahren. *Cannabis im Strassenverkehr* 1998.
19. Daldrup T, Thompson T and Reudenbach G. Cannabiskonsum-Nachweisbarkeitsdauer, zeitlicher Verlauf, forensische Bedeutung. *Suchtkrankheiten*: Springer; 1988: 39-51.
20. Decher C. Geschlechtsunterschiede und Eignung verschiedener Erhebungsmethoden zur Erfassung von Risikobereitschaft, Leistungsmotivation und Gewissenhaftigkeit. Masterarbeit, Psychologie; 2020.
21. Desrosiers NA, Ramaekers JG, Chauchard E, Gorelick DA and Huestis MA. Smoked cannabis' psychomotor and neurocognitive effects in occasional and frequent smokers. *J Anal Toxicol* 2015; **39**(4): 251-261.
22. Die Drogenbeauftragte der Bundesregierung. Nationale Strategie zur Drogen- und Suchtpolitik (2018) Drogen- und Suchtbericht. 2019.
23. Doerr G. Drogenerkennung beim polizeilichen Einschreiten-repressive und praeventive Aspekte. *Polizei Verkehr + Technik* 2010; **55**(3).
24. Drummer OH, Gerostamoulos J, Batziris H, et al. The involvement of drugs in drivers of motor vehicles killed in Australian road traffic crashes. *Accident Analysis & Prevention* 2004; **36**(2): 239-248.
25. Estévez-Danta A, Bijlsma L, Capela R, et al. Use of illicit drugs, alcohol and tobacco in Spain and Portugal during the COVID-19 crisis in 2020 as measured by wastewater-based epidemiology. *Science of the Total Environment* 2022; **836**: 155697.
26. Freeman TP, Groshkova T, Cunningham A, Sedefov R, Griffiths P and Lynskey MT. Increasing potency and price of cannabis in Europe, 2006–16. *Addiction* 2019; **114**(6): 1015-1023.
27. Freisleben SK. Interpretation von quantitativen Cannabinoid-Bestimmungen in Blutproben in Zusammenhang mit Straßenverkehrsdelikten: Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2011; 2011.
28. Gerberich SG, Sidney S, Braun BL, Tekawa IS, Tolan KK and Quesenberry Jr CP. Marijuana use and injury events resulting in hospitalization. *Annals of epidemiology* 2003; **13**(4): 230-237.
29. Glaeske G and Muth L. Cannabis-Report 2020. *Bremen: Eigenverlag* 2021.
30. Goralik E. Die Wirkungen von Cannabis-Ist es an der Zeit, diese Droge in Deutschland zu legalisieren? 2016.
31. Graecmann N and Albrecht M. Begutachtungsleitlinien zur Kraftfahreignung. Stand: 31.12. 2019. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Mensch und Sicherheit* 2020; (115).
32. Grotenhermen F. Pharmacokinetics and pharmacodynamics of cannabinoids. *Clin Pharmacokinet* 2003; **42**(4): 327-360.
33. Haffner H-T, Skopp G and Graw M. Begutachtung im Verkehrsrecht: Fahrtüchtigkeit-Fahreignung-traumatomechanische Unfallrekonstruktion-Bildidentifikation: Springer-Verlag; 2012.
34. Hall W and Degenhardt L. Adverse health effects of non-medical cannabis use. *Lancet* 2009; **374**(9698): 1383-1391.

35. Hall W and Solowij N. Adverse effects of cannabis. *The Lancet* 1998; **352**(9140): 1611-1616.
36. Halldin M, Widman M, Bahr C, Lindgren J and Martin B. Identification of in vitro metabolites of delta 1-tetrahydrocannabinol formed by human livers. *Drug Metabolism and Disposition* 1982; **10**(4): 297-301.
37. Haller R and Dittrich I. Cannabis. *Psychiatrie und Psychotherapie* 2005; **1**(2): 39-50.
38. Harris CR and Jenkins M. Gender differences in risk assessment: why do women take fewer risks than men? *Judgment and Decision making* 2006; **1**(1): 48-63.
39. Hartman RL, Brown TL, Milavetz G, et al. Effect of blood collection time on measured Δ 9-tetrahydrocannabinol concentrations: implications for driving interpretation and drug policy. *Clinical Chemistry* 2016; **62**(2): 367-377.
40. Hartman RL, Brown TL, Milavetz G, et al. Cannabis effects on driving lateral control with and without alcohol. *Drug and alcohol dependence* 2015; **154**: 25-37.
41. Hoch E and Preuss UW. Cannabis, Cannabinoide und Cannabiskonsumstörungen. *Suchttherapie* 2021; **22**(04): 203-216.
42. Huestis MA. Cannabis (Marijuana) - Effects on Human Performance and Behavior. *Forensic Sci Rev* 2002; **14**(1-2): 15-60.
43. Huestis MA. Human cannabinoid pharmacokinetics. *Chemistry & biodiversity* 2007; **4**(8): 1770.
44. Huestis MA, Barnes A and Smith ML. Estimating the time of last cannabis use from plasma Δ 9-tetrahydrocannabinol and 11-nor-9-carboxy- Δ 9-tetrahydrocannabinol concentrations. *Clinical Chemistry* 2005; **51**(12): 2289-2295.
45. Huestis MA, Henningfield JE and Cone EJ. Blood cannabinoids. I. Absorption of THC and formation of 11-OH-THC and THCCOOH during and after smoking marijuana. *Journal of Analytical Toxicology* 1992; **16**(5): 276-282.
46. Huestis MA, Henningfield JE and Cone EJ. Blood cannabinoids. II. Models for the prediction of time of marijuana exposure from plasma concentrations of Δ 9-tetrahydrocannabinol (THC) and 11-nor-9-carboxy- Δ 9-tetrahydrocannabinol (THCCOOH). *Journal of Analytical Toxicology* 1992; **16**(5): 283-290.
47. Huestis MA, Mitchell JM and Cone EJ. Urinary excretion profiles of 11-nor-9-carboxy- Δ 9-tetrahydrocannabinol in humans after single smoked doses of marijuana. *Journal of Analytical Toxicology* 1996; **20**(6): 441-452.
48. Huestis MA and Smith ML. Pharmacokinetics and pharmacodynamics of drugs abused in driving. *Drugs, Driving and Traffic Safety*: Springer; 2009: 151-185.
49. Hung CH, Zukowski J, Jensen DS, et al. Separation of cannabinoids on three different mixed-mode columns containing carbon/nanodiamond/amine-polymer superficially porous particles. *Journal of Separation Science* 2015; **38**(17): 2968-2974.
50. Johansson E, Agurell S, Hollister LE and Halldin MM. Prolonged apparent half-life of Δ 1-tetrahydrocannabinol in plasma of chronic marijuana users. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 1988; **40**(5): 374-375.

51. Kalant H, Corrigall WA, Hall W and Smart R. The health effects of cannabis: Centre for Addiction and Mental Health Toronto; 1999.
52. Kamphausen G and Wense B. Cannabiskonsum in der Corona-Pandemie: Markt und Verbot unter Druck. *akzept eV (Hrsg.)* 2021: 172.
53. Karler R and Turkkanis SA. Different cannabinoids exhibit different pharmacological and toxicological properties. *NIDA Res Monogr* 1987; **79**: 96-107.
54. Karschner EL, Schwilke EW, Lowe RH, et al. Implications of plasma Δ 9-tetrahydrocannabinol, 11-hydroxy-THC, and 11-nor-9-carboxy-THC concentrations in chronic cannabis smokers. *Journal of Analytical Toxicology* 2009; **33**(8): 469-477.
55. Karschner EL, Schwilke EW, Lowe RH, et al. Do Δ 9-tetrahydrocannabinol concentrations indicate recent use in chronic cannabis users? *Addiction* 2009; **104**(12): 2041-2048.
56. Karschner EL, Schwilke EW, Schwilke DM, Schwilke EW, et al. Predictive model accuracy in estimating last Δ 9-tetrahydrocannabinol (THC) intake from plasma and whole blood cannabinoid concentrations in chronic, daily cannabis smokers administered subchronic oral THC. *Drug and alcohol dependence* 2012; **125**(3): 313-319.
57. Kiefer A, Eckert-Lill C, Bussick D, Hörnig M and Reimann H. Cannabis für medizinische Zwecke und seine ärztliche Verordnung. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz* 2019; **62**(7): 811-817.
58. Kielland K. Urinary excretion of cannabis metabolites. *Tidsskrift for den Norske Laegeforening: Tidsskrift for Praktisk Medicin, ny Raekke* 1992; **112**(12): 1585-1586.
59. Klipfel D, Müller D, Sooth W and Walther A. Leitfaden Drogenerkennung. Drogenvortests und Anfangsverdacht in der Unfallaufnahme und Verkehrsüberwachung; 2009.
60. Kraus L, Augustin R and Orth B. Illegale Drogen, Einstiegsalter und Trends. Ergebnisse des Epidemiologischen Suchtsurvey 2003. *Sucht* 2005; **51**(7): 19-28.
61. Kraus L, Pfeiffer-Gerschel T and Pabst A. Cannabis und andere illegale Drogen: Prävalenz, Konsummuster und Trends. Ergebnisse des Epidemiologischen Suchtsurveys 2006. *Sucht* 2008; **54**(7): 16-25.
62. Krueger T. Repräsentative Umfrage „Einstellung zur MPU“. VI. 3-11.11. 13. *Blutalkohol* 2014; **51**(3).
63. Krüger H. Drogen im Straßenverkehr. *Freiburg: Lambertus* 2000.
64. Kuypers KPC, Legrand S-A, Ramaekers JG and Verstraete AG. A case-control study estimating accident risk for alcohol, medicines and illegal drugs. 2012.
65. Lachenmeier DW. Hanfhaltige Lebensmittel-ein Problem? *Deutsche Lebensmittel Rundschau* 2004; **100**(12): 481-490.
66. Laumon B, Gadegbeku B, Martin J-L and Biecheler M-B. Cannabis intoxication and fatal road crashes in France: population based case-control study. *Bmj* 2005; **331**(7529): 1371.
67. Law B, Mason P, Moffat A, Gleadle R and King L. Forensic aspects of the metabolism and excretion of cannabinoids following oral ingestion of cannabis resin. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 1984; **36**(5): 289-294.

68. Lemberger L, Crabtree RE and Rowe HM. 11-Hydroxy- Δ^9 -tetrahydrocannabinol: pharmacology, disposition, and metabolism of a major metabolite of marijuana in man. *Science* 1972; **177**(4043): 62-64.
69. Li M-C, Brady JE, DiMaggio CJ, Lusardi AR, Tzong KY and Li G. Marijuana use and motor vehicle crashes. *Epidemiologic reviews* 2012; **34**(1): 65-72.
70. Lindgren J-E, Ohlsson A, Agurell S, Hollister L and Gillespie H. Clinical effects and plasma levels of Δ^9 -tetrahydrocannabinol (Δ^9 -THC) in heavy and light users of cannabis. *Psychopharmacology* 1981; **74**(3): 208-212.
71. Longo MC, Hunter CE, Lokan RJ, White JM and White MA. 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. *Accident Analysis & Prevention* 2000; **32**(5): 623-632.
72. Lucas CJ, Galettis P and Schneider J. The pharmacokinetics and the pharmacodynamics of cannabinoids. *British journal of clinical pharmacology* 2018; **84**(11): 2477-2482.
73. Maayah ZH, Takahara S, Ferdaoussi M and Dyck JR. The molecular mechanisms that underpin the biological benefits of full-spectrum cannabis extract in the treatment of neuropathic pain and inflammation. *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis Of Disease* 2020; **1866**(7): 165771.
74. Mann RE, Adlaf E, Zhao J, et al. Cannabis use and self-reported collisions in a representative sample of adult drivers. *Journal of safety research* 2007; **38**(6): 669-674.
75. Manno JE, Manno BR, Kemp PM, et al. Temporal indication of marijuana use can be estimated from plasma and urine concentrations of Δ^9 -tetrahydrocannabinol, 11-hydroxy- Δ^9 -tetrahydrocannabinol, and 11-nor- Δ^9 -tetrahydrocannabinol-9-carboxylic acid. *Journal of Analytical Toxicology* 2001; **25**(7): 538-549.
76. Martin J-L, Gadegbeku B, Wu D, Viallon V and Laumon B. Cannabis, alcohol and fatal road accidents. *PLoS one* 2017; **12**(11): e0187320.
77. Merz F. United Nations Office on Drugs and Crime: World Drug Report 2017. 2017. *SIRIUS-Zeitschrift für Strategische Analysen* 2018; **2**(1): 85-86.
78. Müller CP, Huston JP, Strohecker-Kühner P, Lutz B, Skopp G and Aderjan R. Cannabis und Verkehrssicherheit: Mangelnde Fahreignung nach Cannabiskonsum: Leistungsdefizite, psychologische Indikatoren und analytischer Nachweis. 2006.
79. Musshoff F, Lachenmeier DW, Kroener L and Madea B. Automated headspace solid-phase dynamic extraction for the determination of cannabinoids in hair samples. *Forensic Science International* 2003; **133**(1-2): 32-38.
80. Musshoff F and Madea B. Review of biologic matrices (urine, blood, hair) as indicators of recent or ongoing cannabis use. *Ther Drug Monit* 2006; **28**(2): 155-163.
81. Neuhaus O, Kieseier BC, Klimke A, Gaebel W, Hohlfeld R and Hartung H-P. Cannabinoide bei multipler Sklerose. *Der Nervenarzt* 2004; **75**(10): 1022-1026.
82. Niethammer O. Häufigkeiten von Gebrauch, Missbrauch und Abhängigkeit von legalen und illegalen Drogen bei Jugendlichen im Alter von 14-17 Jahren an einer Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie: LMU; 2004.

83. Ogden E, Papafotiou K and Stough C. Validation of a model for estimating time of last cannabis use from known concentrations of tetrahydrocannabinol and the major metabolite. *ICADTS*; 2007.
84. Ohlsson A, Lindgren JE, Wahlen A, Agurell S, Hollister L and Gillespie H. Plasma delta-9-tetrahydrocannabinol concentrations and clinical effects after oral and intravenous administration and smoking. *Clinical Pharmacology & Therapeutics* 1980; **28**(3): 409-416.
85. Ortiz-Peregrina S, Ortiz C, Castro-Torres JJ, Jiménez JR and Anera RG. Effects of smoking cannabis on visual function and driving performance. a driving-simulator based study. *International journal of environmental research and public health* 2020; **17**(23): 9033.
86. Perez-Reyes M, Owens SM and Di Guiseppi S. The clinical pharmacology and dynamics of marihuana cigarette smoking. *The Journal of Clinical Pharmacology* 1981; **21**(S1): 201S-207S.
87. Piontek D, de Matos EG, Atzendorf J and Kraus L. Bayern, Hamburg, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Thüringen. Ergebnisse des Epidemiologischen Suchtsurvey 2015. 2017.
88. Preuss UW, Huestis MA, Schneider M, et al. Cannabis use and Car crashes: a review. *Frontiers in psychiatry* 2021; **12**.
89. Pulido J, Barrio G, Lardelli P, Bravo MJ, Regidor E and de la Fuente L. Association between cannabis and cocaine use, traffic injuries and use of protective devices. *The European Journal of Public Health* 2011; **21**(6): 753-755.
90. Ramaekers J, Van Wel J, Spronk D, et al. Cannabis and tolerance: acute drug impairment as a function of cannabis use history. *Scientific reports* 2016; **6**(1): 1-9.
91. Ramaekers JG, Berghaus G, van Laar M and Drummer OH. Dose related risk of motor vehicle crashes after cannabis use. *Drug and alcohol dependence* 2004; **73**(2): 109-119.
92. Rogeberg O and Elvik R. The effects of cannabis intoxication on motor vehicle collision revisited and revised. *Addiction* 2016; **111**(8): 1348-1359.
93. Schrammel E, Kaba A, Risku H and Machata K. Frau am Steuer: geschlechtsspezifisches Verkehrsverhalten?: Kuratorium für Verkehrssicherheit; 1995.
94. Schubert W, Schneider W, Eisenmenger W and Stephan E. Begutachtungsleitlinien zur Kraffahreignung-Kommentar. *ALCOHOL, DRUGS AND BEHAVIOR* 2006; **43**: 144.
95. Sempio C, Huestis MA, Mikulich-Gilbertson SK, Klawitter J, Christians U and Henthorn TK. Population pharmacokinetic modeling of plasma Delta9-tetrahydrocannabinol and an active and inactive metabolite following controlled smoked cannabis administration. *Br J Clin Pharmacol* 2020; **86**(3): 611-619.
96. Sewell RA, Poling J and Sofuoglu M. The effect of cannabis compared with alcohol on driving. *American journal on addictions* 2009; **18**(3): 185-193.
97. Simon AE, Lauber C, Ludewig K and Umbricht DS. Cannabis und Psychose. *Swiss Medical Forum*; 2004: EMH Media; 2004.
98. Skopp G, Graw M and Musshoff F. Welche neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse und praktischen Erwägungen sprechen für eine Anhebung des Grenzwertes für Tetrahydrocannabinol nach Paragraf 24a StVG? *Blutalkohol* 2022; **59**(1).

99. Smith-Kielland A, Skuterud B and Mørland J. Urinary excretion of 11-nor-9-carboxy- Δ^9 -tetrahydrocannabinol and cannabinoids in frequent and infrequent drug users. *Journal of Analytical Toxicology* 1999; **23**(5): 323-332.
100. Sulcova A. Pharmacodynamics of cannabinoids. *Archives of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 2019; **3**(1): 011-018.
101. Tank A, Daldrup T, Maatz R, Tietz T and Hartung B. Zum zeitabhängigen Einfluss von Cannabis auf die Fahrsicherheit. Ergebnisse einer Fahrsimulationsstudie. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 2021; **67**(2).
102. Terhune K, Ippolito C, Hendricks DL, et al. The incidence and role of drugs in fatally injured drivers: United States. National Highway Traffic Safety Administration, 1992.
103. Toennes S, Theunissen E and Ramaekers J. Überprüfung der Zuverlässigkeit der „Huestis-Formeln“ zur Schätzung des Cannabiskonsumzeitpunkts. *Blutalkohol* 2020; **57**(6).
104. Tossmann P. Der Konsum von Cannabis in der Bundesrepublik Deutschland. 2006.
105. Tretter F and Kraus L. Stadtspezifische Prävalenz des Drogenkonsums und ihre Ursachen. Verlag Hans Huber; 2004. p. 5-7.
106. Volkow ND, Baler RD, Compton WM and Weiss SR. Adverse health effects of marijuana use. *New England Journal of Medicine* 2014; **370**(23): 2219-2227.
107. Vollrath M and Krüger H-P. Auftreten und Risikopotenzial von Drogen im Straßenverkehr. *Blutalkohol* 2002; **39**(Supplement 1).
108. Wagner H. Pharmazeutische Biologie. *Drogen und ihre Inhaltsstoffe*. Stuttgart 1993; **19**.
109. Wagner T, Perlich M, De Vol D, Uhlmann L and Bartels A. Cannabis im Straßenverkehr und Fahreignung. Ein evidenzbasierter Beitrag zur MPU-Indikation ab 3,0 ng/ml THC im Blut. *Blutalkohol* 2021; **58**(5).
110. Wick R and Keller K. Studie des rechtsmedizinischen Instituts der Universität Basel (Schweiz): THC-Grenzwerte im Strassenverkehr» *Blutalkohol* Vol. 58/2021, S. 229-236. *Blutalkohol* 2021; **58**: .
111. Wittowsky D and Ahlmeyer F. Verkehr im ländlichen Raum. Handwörterbuch der Stadt-und Raumentwicklung: Hannover: ARL-Akademie für Raumforschung und Landesplanung; 2018: 2791-2797.
112. Zwerger D. Berührungspunkte von Toxikologie und Rechtsprechung: Blutwerte nach Cannabiskonsum und Fahreignung.

7. Anhang

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Chemische Struktur der Hauptcannabinoide mit englischer Bezeichnung. (Hung C et al., 2015)

Abbildung 2: 12-Monats-Prävalenz des Cannabiskonsums innerhalb der Altersgruppen. (Tossmann P, 2006)

Abbildung 3: Durchschnittliche Plasmakonzentration von THC, THC-OH und THC-COOH in zeitlicher Korrelation nach inhalativem Cannabiskonsum. (Freisleben SK, 2011)

Abbildung 4: Metabolismus der Cannabinoide. (Maayah ZH et al., 2020)

Abbildung 5: Aktuell verwendete THC-Grenzwerte (Blutserum oder Vollblut) im Straßenverkehr nach Staaten/Bundesstaaten. Modifiziert nach Bucher B et al., 2020. (Bucher B et al., 2020)

Abbildung 6: Modell I und dessen Konfidenzintervall nach Huestis (Huestis MA et al., 1992). (Freisleben SK, 2011)

Abbildung 7: Modell II und dessen Konfidenzintervall nach Huestis (Huestis MA et al., 1992). (Freisleben SK, 2011)

Abbildung 8: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach Geschlecht.

Abbildung 9: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach Geschlecht.

Abbildung 10: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach Alter und Geschlecht mithilfe einer Alterspyramide.

Abbildung 11: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach Alter und Geschlecht mithilfe einer Alterspyramide.

Abbildung 12: Anzahl der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach einsendenden Behörden.

Abbildung 13: Anzahl der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach einsendenden Behörden.

Abbildung 14: Absolute Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 in THC-Wertebereiche.

Abbildung 15: Absolute Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 in THC-Wertebereiche.

Abbildung 16: Absolute Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 in THC-COOH-Wertebereiche.

Abbildung 17: Absolute Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 in THC-COOH-Wertebereiche.

Abbildung 18: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach Deliktart.

Abbildung 19: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach Deliktart.

Abbildung 20: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach Deliktart unter Berücksichtigung verschiedener Altersgruppen.

Abbildung 21: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach Deliktart unter Berücksichtigung verschiedener Altersgruppen.

Abbildung 22: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 unter der Berücksichtigung des THC-Grenzwertes 1,0 ng/mL.

Abbildung 23: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 unter der Berücksichtigung des THC-Grenzwertes 1,0 ng/mL.

Abbildung 24: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach Konsummuster. Als Entscheidungsgrenze für das Konsummuster wurde 150 ng/mL THC-COOH verwendet.

Abbildung 25: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach Konsummuster. Als Entscheidungsgrenze für das Konsummuster wurde 150 ng/mL THC-COOH verwendet.

Abbildung 26: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach Konsummuster und in Korrelation zur Deliktart. Als Entscheidungsgrenze für das Konsummuster wurde 150 ng/mL THC-COOH verwendet.

Abbildung 27: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach Konsummuster und in Korrelation zur Deliktart. Als Entscheidungsgrenze für das Konsummuster wurde 150 ng/mL THC-COOH verwendet.

Abbildung 28: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 nach Konsummuster und in Korrelation zum Geschlecht. Als Entscheidungsgrenze für das Konsummuster wurde 150 ng/mL THC-COOH verwendet.

Abbildung 29: Relative Verteilung der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 nach Konsummuster und in Korrelation zum Geschlecht. Als Entscheidungsgrenze für das Konsummuster wurde 150 ng/mL THC-COOH verwendet.

Abbildung 30: Absolute Aufteilung der individuellen Konsumzeitangaben der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2019 in Stundenabschnitte.

Abbildung 31: Absolute Aufteilung der individuellen Konsumzeitangaben der Cannabiskonsumfälle aus dem Jahr 2020 in Stundenabschnitte.

Abbildung 32: Unter- und Überschätzungen von Modell I aus dem Jahr 2019 in Stunden. Der x-Achsenabschnitt gibt den angegebenen Konsumzeitpunkt in Stunden an.

Abbildung 33: Unter- und Überschätzungen von Modell II aus dem Jahr 2019 in Stunden. Der x-Achsenabschnitt gibt den angegebenen Konsumzeitpunkt in Stunden an.

Abbildung 34: Unter- und Überschätzungen bei Kombination beider Modelle aus dem Jahr 2019 in Stunden. Der x-Achsenabschnitt gibt den angegebenen Konsumzeitpunkt in Stunden an.

Abbildung 35: Unter- und Überschätzungen von Modell I aus dem Jahr 2020 in Stunden. Der x-Achsenabschnitt gibt den angegebenen Konsumzeitpunkt in Stunden an.

Abbildung 36: Unter- und Überschätzungen von Modell II aus dem Jahr 2020 in Stunden. Der x-Achsenabschnitt gibt den angegebenen Konsumzeitpunkt in Stunden an.

Abbildung 37: Unter- und Überschätzungen bei Kombination beider Modelle aus dem Jahr 2020 in Stunden. Der x-Achsenabschnitt gibt den angegebenen Konsumzeitpunkt in Stunden an.

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick psychischer und physischer Effekte von Cannabis. (Haller R and Dittrich I, 2005)

Tabelle 2: Fahreignung nach FeV Anlage 4 Punkt 9.-9.2.2 zur Beurteilung der Fahreignung eines Kraftfahrzeugs im Straßenverkehr. Unterteilung in mehrere Spalten aufgrund verschiedener Kraftfahrzeugklassen. (Bundesministerium für Justiz, https://www.gesetze-im-internet.de/fev_2010/anlage_4.html Zuletzt abgerufen am 24.05.2023)

Tabelle 3: Aktuell verwendete Grenzwerte zur Beurteilung des Konsummusters anhand der THC-COOH-Konzentration in ng/mL. (Daldrup T, 2021)

Tabelle 4: Mittelwerte der Cannabinoidkonzentrationen 2019.

Tabelle 5: Spanne und Median der Cannabinoidkonzentrationen 2019.

Tabelle 6: Mittelwerte der Cannabinoidkonzentrationen 2020.

Tabelle 7: Spanne und Median der Cannabinoidkonzentrationen 2020.

Tabelle 8: Auswirkung verschiedener Grenzwerte unter Berücksichtigung des Konsumverhaltens bei Ordnungswidrigkeiten 2019.

Tabelle 9: Auswirkung verschiedener Grenzwerte unter Berücksichtigung des Konsumverhaltens bei Ordnungswidrigkeiten 2020.

8. Vorabveröffentlichungen von Ergebnissen

Publikation:

Nikolic A et al. "Welche Auswirkungen hätte eine Anhebung des THC-Grenzwertes nach Paragraph 24a StVG? Eine exemplarische Auswertung des Untersuchungsgutes des Instituts für Rechtsmedizin in Köln." *Blutalkohol* 60.2 (2023).

Poster:

Nikolic A et al. "Which consequences will occur after increasing the threshold of THC according to paragraph 24a StVG? An exemplary evaluation of the routine cases of the Institute of Legal Medicine of Cologne." *Toxichem Krimtech* 2023; 90(2): 82.