

Cannabidiol - Grundstoff für Betäubungsmittel?

Andreas Berndhäuser und Tim Laußmann

Generalzolldirektion, Bildungs- und Wissenschaftszentrum der Bundesfinanzverwaltung,
Gescherweg 100, 48161 Münster; tim.laussmann@bwz.bund.de

Abstract. Pflanzenöle, Nahrungsergänzungsmittel, Süßwaren, Kosmetikprodukte - seit einigen Jahren wird der Markt mit Produkten überschwemmt, die den nicht psychotropen Stoff Cannabidiol (CBD) enthalten. Für deren Herstellung wird unter anderem CBD als Reinstoff in großen Mengen nach Deutschland eingeführt. Weitgehend unbeachtet bleibt dabei, dass sich reines CBD in einer „Eintopfreaktion“ auch durch Laien mit minimalem experimentellen Geschick in die Betäubungsmittel Δ 8- und Δ 9-Tetrahydrocannabinol (THC) umwandeln lässt. Δ 8-THC, welches in Cannabis nur in geringen Mengen auftritt, ist dabei das thermodynamisch stabilere Endprodukt dieser Synthesen. In der vorliegenden explorativen Arbeit wurden einige im Internet frei verfügbare „Kochrezepte“ nachvollzogen. Die Synthesen wurden hinsichtlich ihrer Ausbeute und Effizienz mittels GC-FID und GC-MS untersucht und bewertet. Die Betäubungsmittel konnten in erstaunlich hoher Reinheit und Ausbeute erhalten werden. Es stellt sich die Frage, ob CBD der Grundstoffüberwachung unterstellt werden sollte, zumal Fertigprodukte mit hohen Gehalten an Δ 8-THC bereits regelmäßig sichergestellt werden.

1. Einleitung

Seit einigen Jahren ist eine Vielzahl von Produkten, die Cannabidiol (CBD) enthalten, mehr oder weniger frei verfügbar. Darunter Süßwaren, Öle und andere Nahrungsergänzung- oder Lebensmittel sowie Kosmetika. Darüber hinaus wird auch hochreines, isoliertes CBD gehandelt. Dem Stoff, der aus der Hanfpflanze (*Cannabis sativa* L.) gewonnen wird, werden eine Reihe von positiven Wirkungen nachgesagt. So soll er beispielsweise angstlösend und entkrampfend wirken. [1] Während gegen den Verkauf von Produkten aus CBD-haltigem Hanf zum Teil polizeilich vorgegangen wird [2,3], unterliegt CBD selbst keinen betäubungsmittelrechtlichen Beschränkungen. Dass CBD als Edukt für die Synthese von Tetrahydrocannabinolen (THC), die dem BtMG unterliegen, verwendet werden kann, ist eine seit Langem bekannte Tatsache [4], die allerdings insgesamt wenig Beachtung fand.

In den letzten 15 Jahren wurde das Thema unter dem Aspekt des möglichen Einsatzes von Cannabinoiden als pharmazeutische Wirkstoffe wieder aufgegriffen. Im Zuge dessen wurde eine Reihe von Patenten veröffentlicht, die auf die Umwandlung von CBD zu THC in industriellem Maßstab abzielen. [5-7] Die meisten dieser Patente enthalten aufwendige technische Verfahren, die professionelle Ausrüstung und geschultes Personal erfordern. Die chemische Reaktion lässt sich jedoch auch mit einfachen Mitteln durchführen, so dass auch Laien über einfach zugängliche Synthesewege Betäubungsmittel herstellen können. Δ 9-THC ist dabei ein Zwischenprodukt während das in Cannabis seltene Δ 8-THC das thermodynamisch stabilere Endprodukt darstellt. Δ 8-THC soll eine geringere psychotrope Wirkung als Δ 9-THC besitzen. [8]

Dass die Synthese von THC aus CBD kein hypothetisches Problem ist, belegen zahlreiche Aufgriffe des Zolls. Insbesondere wurden Mischungen aus Δ 8-THC, Δ 9-THC sowie Cannabidiol sichergestellt, die zuweilen Beimischungen von anderen Cannabinoiden wie iso-Tetrahydrocannabinol oder Cannabicitran enthielten. Die Zusammensetzung dieser Mischungen lässt sich nicht durch die einfache Extraktion von Pflanzenteilen erreichen, entspricht aber den aus der Literatur bekannten Reaktionsprodukten der säurekatalysierten intramolekularen Cyclisierung

von CBD. [9] Unter den sichergestellten Asservaten befanden sich auch fertig abgefüllte Kartuschen mit sogenannten „E-liquids“. Dies belegt, dass zumindest ein Teil der synthetisch erzeugten Tetrahydrocannabinole für den illegalen Handel bestimmt ist.

Zur Vorgehensweise dieser „Garagenlabore“ wurden in einer Internetrecherche Synthesevorschriften ermittelt, die in einschlägigen, aber frei zugänglichen Online-Quellen verfügbar sind. Insbesondere wurden dabei die Forenverläufe der Website Future4200.com und das Subreddit CBeeD untersucht. Die Recherche wurde von Januar bis März 2022 durchgeführt. Die dort vorzufindenden Synthesevorschriften wurden exemplarisch am Bildungs- und Wissenschaftszentrum der Bundesfinanzverwaltung nachvollzogen und die Ergebnisse mit den Angaben im Internet sowie der Literatur verglichen. Konkret wurde der Einsatz von Schwefelsäure in Ethanol oder Eisessig [10,11], *p*-Toluolsulfonsäure (*p*-TSA) in Ethanol oder Toluol [12,13], reinem Eisessig [14], sowie Citronensäure in Wasser [15] getestet. Verzichtet wurde auf Tests mit Salzsäure und Lewissäuren wie Bortrifluoretherat oder Aluminium(III)chlorid. Es ist unstrittig, dass diese Säuren für die Reaktion verwendet werden könnten, sie werden in den betrachteten Quellen aber nur am Rande erwähnt.

2. Material und Methoden

Für die durchgeführten Arbeiten liegt eine befristete Erlaubnis nach §3 BtMG durch die Bundesopiumstelle des Bundesinstituts für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) vor.

2.1. Chemische Verfahren

Die verwendeten Chemikalien und Lösungsmittel wurden von VWR (Darmstadt) bezogen und ohne weitere Aufreinigung verwendet. Citronensäure wurde in Lebensmittelqualität im Einzelhandel erworben. CBD hoher Reinheit (>99 %) wurde aus Sicherstellungen des Zolls entnommen. Alle Reaktionen wurden, sofern nicht anders angegeben, nach Ablauf der Reaktionszeit durch Zugabe von wässriger Natriumhydrogencarbonat-Lösung beendet.

Tabelle 1. Reaktionsbedingungen (RT - Raumtemperatur).

Nr.	Säure	Menge Säure	Lösungsmittel	Volumen [mL]	CBD [mg]	Reaktionszeit [h]	Temp.
1	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	1000 mg	EtOH	25	1000	5	Reflux
2	konz. Schwefelsäure	10 mL	EtOH	25	1000	5,5	Reflux
3	konz. Schwefelsäure	100 mL	EtOH	25	500	5	Reflux
4	Eisessig	Überschuss	entfällt	30	1000	5	Reflux
5	konz. Schwefelsäure	260 mL	Eisessig	10	1000	3	RT
6	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	107 mg	Toluol	30	1000	2	Reflux
7	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	66 mg	Toluol	30	1000	0,75	Reflux
8	Citronensäure	750 mg	Wasser	5	1000	5	Reflux
9	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	66 mg	Toluol	30	3000	4,3	Reflux
10	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	10 mg	Toluol	30	1000	0,88	Reflux
11	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	66 mg	Toluol	30	1000	0,83	Reflux
12	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	60 mg	Toluol	30	1000	122,5	RT
13	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	60 mg	Toluol	30	1000	122,5	RT
14	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	60 mg	Toluol	30	1000	122,5	RT

Bei Verwendung von Toluol als Lösungsmittel wurde die organische Phase abgetrennt, mit deionisiertem Wasser gewaschen, über Magnesiumsulfat getrocknet und das Lösungsmittel

unter vermindertem Druck entfernt. Bei Verwendung von Ethanol als Lösungsmittel wurde die Wasser-Ethanol-Lösung dreimal mit je 10 mL Diethylether extrahiert, die organische Phase abgetrennt, über Magnesiumsulfat getrocknet und das Lösungsmittel unter vermindertem Druck entfernt. Im Fall von Eisessig als Lösungsmittel wurde die Lösung mit 15 g Natriumhydrogencarbonat in Wasser neutralisiert. Mit der resultierenden Wasser-Essig-Lösung wurde danach identisch zu den Wasser-Ethanol-Lösungen verfahren. Reaktionen mit Citronensäure wurden in einer Emulsion aus geschmolzenem CBD und 5 mL deionisiertem Wasser durchgeführt. Die Aufarbeitung unterscheidet sich von den anderen Reaktionen dadurch, dass das THC als orangefarbene Masse abgeschieden wird, die zur Reinigung lediglich äußerlich mit deionisiertem Wasser gewaschen wurde. Die eingesetzten Säuremengen, Lösungsmittel und ihre Volumina, Reaktionszeiten und Temperaturen sowie die eingesetzte Menge CBD können Tabelle 1 entnommen werden.

2.2. Analytische Verfahren

Die Zusammensetzung der Reaktionsprodukte wurde mittels eines Shimadzu GC-2010 Plus Gaschromatographen mit FID-Detektor gemessen. Zur quantitativen Bestimmung wurde mit CBD kalibriert. Für die anderen Cannabinoide wurde ein identischer Response-Faktor angenommen. Zur Nachverfolgung des Reaktionsverlaufs laufender Reaktionen wurden 100 µL des Reaktionsgemischs entnommen und mit 900 µL Ethanol verdünnt. Zur Neutralisation der Säure wurde das Ethanol mit Natriumhydrogencarbonat kalt gesättigt. Die Proben wurden unmittelbar nach der Entnahme gemessen. Die Mengen an entstandenem THC und verbleibendem CBD wurden aus der Masse des Produktgemischs anhand der gaschromatographisch bestimmten Zusammensetzung berechnet. Zur Identifizierung von Nebenprodukten wurde ein Shimadzu GCMS-QP2010 SE Gaschromatograph-Massenspektrometer verwendet. Zusätzlich wurden die Stoffe Cannabinol, Cannabigerol und Cannabicitran anhand ihrer Retentionszeiten mithilfe des GC-FID identifiziert.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die ermittelten Katalysator-Lösungsmittelsysteme wurden getestet (Reaktionen 1-8, Tabelle 1 und 2) und eine erste Bewertung ihrer Eignung vorgenommen. Da die Gesamtmasse an Produktgemisch in allen Fällen etwa 80 % der eingesetzten Masse an Cannabidiol entsprach, wurde dies als Bewertungskriterium vernachlässigt. Stattdessen wurde als Kriterium der Massenanteil an Tetrahydrocannabinolen (Summe aus $\Delta 8$ -THC und $\Delta 9$ -THC) am Produktgemisch als maßgebliches Kriterium gewählt. Dies ist insbesondere von Bedeutung, weil ein geringer THC-Gehalt im Produkt trotz weitgehender CBD-Umsetzung ein Maß für das Auftreten von unerwünschten Nebenreaktionen ist. Als zweites Kriterium wurde der Anteil an $\Delta 9$ -THC am Produktgemisch betrachtet, da es sich dabei um die Substanz mit der stärkeren psychotropen Wirkung handelt und davon ausgegangen werden kann, dass es sich dabei um das hauptsächlich angestrebte Reaktionsprodukt handelt.

Reaktion 1, bei der eine stöchiometrische Menge *p*-Toluolsulfonsäure verwendet wurde, lieferte nur eine geringe Ausbeute. Zwar wurde nahezu alles CBD verbraucht, der Anteil an THC am Reaktionsprodukt war aber der niedrigste aller Reaktionen. Dies liegt am Auftreten einer Vielzahl von Nebenreaktionen, sodass im Reaktionsprodukt Nebenprodukte wie Cannabicitran, iso-THC und exo-THC auftreten. Diese Reaktionsbedingungen müssen daher als ungeeignet bewertet werden. Die Reaktionen 2 und 3, für die unterschiedliche Mengen Schwefelsäure in Ethanol eingesetzt wurden, liefern bessere Ergebnisse. Reaktion 2 ergibt zwar ebenfalls nur einen THC-Gehalt von 34,6 %, hier steht die geringe THC-Menge aber einer großen

Restmenge unverbrauchtem CBD gegenüber. Es kann daher spekuliert werden, ob längere Reaktionszeiten das Ergebnis verbessert hätten. Zudem ist das verbliebene CBD für den Konsum wahrscheinlich günstiger als eine Mischung verschiedener Nebenprodukte mit unbekannter Wirkung.

Tabelle 2. Reaktionsprodukte (RT - Raumtemperatur).

Nr.	Säure	Ausbeute $\Delta 8$ -THC [mg]	Ausbeute $\Delta 9$ -THC [mg]	Rest CBD [mg]	Anteil THC im Produkt [%]*	Temp.
1	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	200	76	0	34,5	Reflux
2	konz. Schwefelsäure	5	272	387	34,6	Reflux
3	konz. Schwefelsäure	11	207	81	54,5	Reflux
4	Eisessig	80	406	209	60,8	Reflux
5	konz. Schwefelsäure	611	11	0	77,8	RT
6	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	713	27	0	92,5	Reflux
7	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	687	28	0	89,4	Reflux
8	Citronensäure	192	210	289	50,3	Reflux
9	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	2116	148	82	95,9	Reflux
10	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	703	56	35	91,4	Reflux
11	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	561	27	34	90,5	Reflux
12	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	248	485	67	91,6	RT
13	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	247	479	75	90,8	RT
14	<i>p</i> -Toluolsulfonsäure	272	465	62	92,1	RT

* Summe aus den Massen an $\Delta 8$ -THC und $\Delta 9$ -THC im Verhältnis zur erhaltenen Gesamtmasse

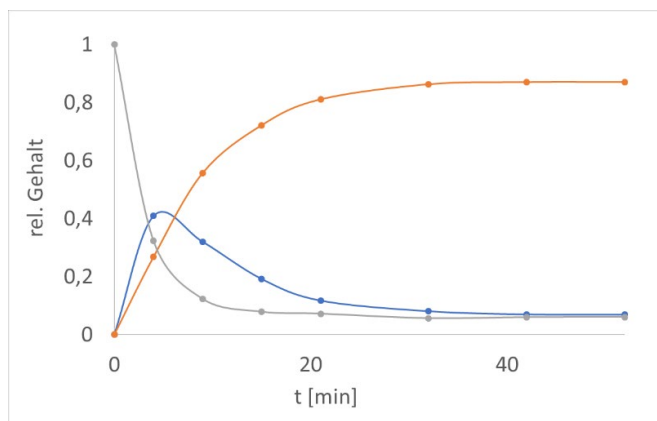
Reaktion 3 liefert einen THC-Gehalt von 54,5 %, hier kommt es allerdings erneut zu einem verstärkten Auftreten von Nebenprodukten. Reaktion 4 in Eisessig ergibt ein ambivalentes Ergebnis. Einerseits ist eine erhebliche Menge an $\Delta 9$ -THC entstanden, andererseits eine Vielzahl von zum Teil nicht näher charakterisierten Nebenprodukten. Zudem erwies sich die vollständige Entfernung der Essigsäure als schwierig und im aufgearbeiteten Reaktionsprodukt verblieb ein leichter Essiggeruch. Eine chromatographische oder destillative Reinigung wäre daher insbesondere vor einem Konsum durch Rauchen anzuraten. Damit läge der Mindestaufwand für ein konsumierbares Produkt deutlich über den anderen getesteten Methoden. Bei Zugabe einer katalytischen Menge Schwefelsäure zu Eisessig bei Raumtemperatur (Reaktion 5) findet eine zügige Umsetzung zu $\Delta 8$ -THC statt, das fast 80 % des Produktgemischs ausmacht. Darüber hinaus bildet sich hauptsächlich *exo*-THC. Auch hier war ein vollständiges Abtrennen der Essigsäure nicht möglich. Reaktionen 6 und 7 mit *p*-Toluolsulfonsäure (*p*-TSA) ergeben eine hohe Ausbeute an THC von etwa 90 %, allerdings fast ausschließlich $\Delta 8$ -THC. Neben Restmengen von CBD enthält das Reaktionsprodukt geringe Mengen an Cannabicitran. Reaktion 8 erzeugt einen THC-Gehalt von 50,3 %, der sich nahezu 1:1 aus $\Delta 8$ -THC und $\Delta 9$ -THC zusammensetzt. Das restliche Reaktionsprodukt besteht im Wesentlichen aus nicht umgesetztem CBD und Resten von Citronensäure. Für diese Reaktion muss betont werden, dass sie in der Handhabung besonders einfach ist, da keine organischen Lösungsmittel verwendet werden, kaum Nebenprodukte entstehen und sich das Produkt aus der Reaktionsmischung in Form eines Harzes abscheidet.

Basierend auf den zuvor genannten Kriterien lieferten Reaktionen mit *p*-TSA in Toluol das beste Ergebnis. Zwar ergab auch die Reaktion mit Schwefelsäure in Eisessig gute Ausbeuten an THC, jedoch mit einer deutlich höheren Bildung von Nebenprodukten. Die Reaktion in reinem Eisessig lieferte die größte Menge an $\Delta 9$ -THC, war allerdings von der Bildung einer

Vielzahl zum Teil nicht identifizierter Nebenprodukte begleitet. Unter Verwendung von Citronensäure bildete sich eine relativ große Menge THC mit einem guten Anteil an Δ^9 -THC, allerdings wurde auch viel CBD mit dem Reaktionsprodukt isoliert. Dadurch ist die Reaktion für Anwender, die ausschließlich privaten Konsum planen, wahrscheinlich sehr interessant, für Anwender mit kommerziellen Absichten jedoch relativ unwirtschaftlich.

Im Rahmen der getesteten Bedingungen wurde festgestellt, dass bei den meisten Reaktionen im Wesentlichen das thermodynamisch stabilere Δ^8 -THC als Endprodukt erhalten wurde. Das Reaktionssystem *p*-Toluolsulfonsäure/Toluol wurde zur näheren Untersuchung ausgewählt (Reaktionen 9 bis 14). Die Reaktion 10 erfolgte mit verringerter Säuremenge zur Nachverfolgung des Reaktionsgeschehens. Die Reaktionen 12 bis 14 erfolgten bei Raumtemperatur und entsprachen einer als besonders einsteigerfreundlich beworbenen Reaktionsvorschrift. [16] Der Reaktionsverlauf wurde durch die Analyse von während der Reaktion entnommenen Proben mittels GC-FID verfolgt.

Abbildung 1 zeigt den zeitlichen Verlauf des relativen Gehalts an CBD, Δ^9 -THC und Δ^8 -THC in Reaktion 10. Zunächst bildet sich Δ^9 -THC aus CBD, dass sich kontinuierlich zu dem thermodynamisch stabileren Δ^8 -THC umlagert. Das Maximum an Δ^9 -THC wird bereits nach ca. 5 Minuten bei einem Gehalt von ca. 40 % erreicht. Nach ca. 45 Minuten werden Gleichgewichtskonzentrationen von (je circa) 87 % Δ^8 -THC, 7 % Δ^9 -THC sowie 6 % CBD erreicht, die sich in der Folge nicht mehr wesentlich verändern.



Das Maximum an Δ^9 -THC wird bereits nach ca. 5 Minuten bei einem Gehalt von ca. 40 % erreicht. Nach ca. 45 Minuten werden Gleichgewichtskonzentrationen von (je circa) 87 % Δ^8 -THC, 7 % Δ^9 -THC sowie 6 % CBD erreicht, die sich in der Folge nicht mehr wesentlich verändern.

Abb. 1. Zeitlicher Verlauf des relativen Gehalts an CBD (grau), Δ^8 -THC (orange) und Δ^9 -THC (blau) in Reaktion 10.

Die „besonders einsteigerfreundliche“ Versuchsvorschrift wurde in einem Parallelversuch dreimal durchgeführt (Reaktionen 12-14) und der zeitliche Verlauf mittels GC-FID verfolgt. Abbildung 2 zeigt den über 3 Reaktionen gemittelten relativen Gehalt an Δ^8 -THC, Δ^9 -THC und CBD über einen Zeitraum von 122 Stunden. Die Reaktion verläuft unter den gewählten Bedingungen langsam, erreicht aber eine Endzusammensetzung von ca. 60 % Δ^9 -THC, 32 % Δ^8 -THC und 8 % CBD. Die in [16] beschriebene Zusammensetzung wurde nach der angegebenen Reaktionszeit von 36 bis 48 Stunden nicht erreicht.

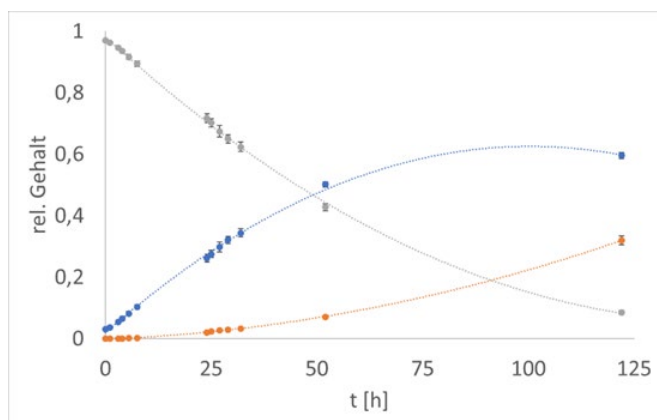


Abb. 2. Gemittelter zeitlicher Verlauf des Gehalts an CBD (grau), Δ^8 -THC (orange) und Δ^9 -THC (blau) in den Reaktionen 12-14.

Die Unterschiede sind vermutlich dadurch zu erklären, dass die Angaben zur Lösungsmittelmenge ungenau waren („dissolve in toluene“) und mit „room temperature“ Temperaturen zwischen 17 und 25 Grad Celsius gemeint sein können. Unabhängig davon liefert die Reaktion

mit etwas Geduld und sehr geringem apparativem Aufwand eine hohe Ausbeute mit einem hohen Anteil an Δ^9 -THC.

Die Reaktionen wurden mit einfachsten synthetischen Mitteln durchgeführt und verzichteten auf Bedingungen wie Schutzgasatmosphäre und trockene Lösungsmittel. Postings auf reddit.com geben an, dass unter Wasserausschluss auch nahezu ausschließlich Δ^9 -THC erhalten werden könne. [13] Literaturquellen legen nahe, dass dies bei geeigneter Reaktionsführung im Bereich des Möglichen ist. So erreichen Marzullo et al. [9] in einer Studie von 2020 eine Zusammensetzung von 82 % Δ^9 -THC und 11 % Δ^8 -THC.

Generell stimmen online-Quellen, die Literatur und unsere Arbeiten darin überein, dass starke organische Säuren bessere Ergebnisse liefern als protische anorganische Säuren. Marzullo et al. [9] favorisieren dabei Camphersulfonsäure. Da diese aber in den durchsuchten online-Quellen nicht verwendet wird, wurde von unserer Seite diese Säure nicht getestet. *p*-TSA liefert übereinstimmend gute Ergebnisse. Lewis-Säuren spielen in den gefundenen Quellen keine nennenswerte Rolle, obwohl diese laut Literatur vielversprechende Ergebnisse liefern können. [9] Dabei ist zu beachten, dass jede Durchsicht von Foren immer nur eine Momentaufnahme ist, die abbildet, was zu einem bestimmten Zeitpunkt diskutiert wurde.

4. Schlussfolgerung

Die hier präsentierten Synthesevorschriften wurden nachvollzogen und es wurde gezeigt, dass eine Umwandlung von Cannabidiol zu Tetrahydrocannabinol entlang einfacher Synthesewege mittels frei zugänglicher Chemikalien mit guter Ausbeute und sehr geringem apparativem Aufwand möglich ist. Dabei möchten wir unterstreichen, dass die Basis dieser Arbeit Reaktionsvorschriften bilden, die aus dem freien Austausch von Privatpersonen zum Zweck der Herstellung von Betäubungsmitteln im häuslichen Umfeld ermittelt wurden. Zwar kann davon ausgegangen werden, dass eine Mehrzahl der Nutzer hauptsächlich privaten Konsum verfolgt, es existieren aber auch hochskalierte Vorschriften im Kilogramm-Maßstab [17], bei denen eine kommerzielle Absicht zweifelsfrei angenommen werden kann. Vor diesem Hintergrund stellt sich nach Meinung der Autoren die Frage, ob CBD nicht der Grundstoffüberwachung unterliegen sollte.

5. Danksagung

Wir bedanken uns bei Frau Sarah Peschen für ihre Unterstützung bei den quantitativen Messungen an der GC-FID.

6. Literatur

- [1] Mechoulam R, Peters M, Murillo-Rodriguez E, Hanus LO. Cannabidiol - recent advances. Chem Bio-divers. 2007;4(8):1678-1692.
- [2] <https://www.sol.de/grossregion/polizei-raeumt-cbd-laeden-in-saarbruecken-leer-jusos-saar-wollen-verkauf-wieder-erlauben,72933.html>, abgerufen am 16.01.2023.
- [3] <https://www.zeit.de/news/2022-03/13/handel-mit-umstrittenen-cbd-produkten-straftprozess>, abgerufen am 16.01.2023.

- [4] Adams R, Pease DC, Cain CK, Clark JH. Isomerization of cannabidiol to tetrahydrocannabinol, a psychologically active product. Conversion of cannabidiol to cannabinol. *J. Am. Chem. Soc.* 1940;62(9): 2402-2405.
- [5] Nivorozhkin A. Novel methods and related tools for cannabidiol (CBD) conversion to tetrahydrocannabinol (THC). World Intellectual Property Organization 2020, WO2020146907 A1 2020-07-16.
- [6] Tegen MG, Cho J. Continuous isolation of cannabidiol and conversion of cannabidiol to delta 8-tetrahydrocannabinol and delta 9-tetrahydrocannabinol. World Intellectual Property Organisation 2019, WO2019173582 A1 2019-09-12.
- [7] Webster GRB, Sarna LP, Mechoulam R. Processes for conversion of cannabidiol (CBD) to Δ^8 -tetrahydrocannabinol (Δ^8 -THC) or Δ^9 -tetrahydrocannabinol (Δ^9 -THC). World Intellectual Property Organization 2002, WO2002070506 A2 2002-09-12.
- [8] Hollister LE, Gillespie HK. Delta-8- and delta-9-tetrahydrocannabinol; Comparison in man by oral and intravenous administration. *Clin. Pharmacol. Ther.* 1973, 3(14):353-357.
- [9] Marzullo P, Foschi F, Coppini DA, Fanchini F, Magnani L, Rusconi S, Luzzani M, Passarella D. Cannabidiol as substrate in acid-catalyzed intramolecular cyclization. *J. Nat. Prod.* 2020,83(10):2894-2901.
- [10] <https://www.thcfarmer.com/threads/isomerization-of-cbd-to-thc.95112/>, abgerufen am 31.01.2022.
- [11] <https://future4200.com/t/isomerization-to-delta-8-thc/1222>, abgerufen am 31.01.2022.
- [12] <https://dailycbd.com/en/how-to-make-delta-8-thc/>, abgerufen am 31.01.2022.
- [13] https://www.reddit.com/r/CBeeD/comments/ncttdz/for_the_more_experienced_isomerizing_cbd_to_d9thc/, abgerufen am 11.02.2022.
- [14] <https://www.acsh.org/news/2019/04/08/cbd-and-thc-only-difference-one-chemical-bond-13937>, abgerufen am 11.02.2022.
- [15] https://www.reddit.com/r/CBeeD/comments/ncojyk/isomerizing_cbd_to_thc_using_citric_acid_and_a/compact, abgerufen am 11.02.2022.
- [16] https://www.reddit.com/r/CBeeD/comments/occi6/beginner_friendly_method_for_90_d8_or_d9_yield/compact, abgerufen am 16.03.2022.
- [17] <https://future4200.com/t/ill-nye-cbd-d8-conversion-master-sop/128430>, abgerufen am 16.03.2022.