

# Hanfhaltige Lebensmittel – ein Problem?

Dirk W. Lachenmeier<sup>#</sup>

Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt (CVUA) Karlsruhe,  
Weißburger Str. 3, D-76187 Karlsruhe

## Zusammenfassung

Seit dem 1996 aufgehobenen Anbauverbot für Pflanzen der Spezies *Cannabis sativa* L. (sog. Faserhanf) mit geringem Gehalt des psychoaktiven Inhaltsstoffs  $\Delta^9$ -Tetrahydrocannabinol (THC) wird eine Vielzahl daraus hergestellter Lebensmittel angeboten. Als Beurteilungshilfe für die amtliche Lebensmittelüberwachung werden in dieser Übersichtsarbeit alle Aspekte von Hanf als Lebensmittel diskutiert, eine Einführung in die Botanik der Hanfpflanze gegeben und die aktuelle Gesetzeslage in Deutschland und der Europäischen Union dargestellt. Forensisch-toxikologische Aspekte insbesondere hinsichtlich des Einflusses von Hanflebensmitteln auf Drogentests werden beschrieben und eine Übersicht über die analytischen Möglichkeiten zur Absicherung der THC-Richtwerte gegeben. Abschließend werden Vorschläge für die lebensmittelchemische und rechtliche Beurteilung von Hanflebensmitteln gemacht.

## Summary

In 1996, the prohibition of the cultivation of plants of the species *Cannabis sativa* L. (so-called fibre hemp) with minor content of the psychoactive  $\Delta^9$ -tetrahydrocannabinol (THC) was lifted. Nowadays, a wide variety of hemp food products is offered on the market. As a help for evaluation of such products, this review article provides the official food control with information on all aspects of hemp as foodstuff. An introduction to the botany of the hemp plant and the current law situation in Germany and the European Union is presented. In particular, the forensic-toxicological aspects regarding the influence of hemp food on drug tests are described. Furthermore, an overview of the analytic techniques used to verify compliance with the guidance values is given. Finally, suggestions for the food regulatory and food chemical evaluation of hemp food products are made.

**Keywords:** Hanflebensmittel, Faserhanf, *Cannabis sativa* L., Cannabinoide, Tetrahydrocannabinol (THC) / hemp food, fibre hemp, *Cannabis sativa* L., cannabinoids, tetrahydrocannabinol (THC)

## 1 Einleitung

Mit der 7. Verordnung zur Änderung betäubungsmittelrechtlicher Vorschriften<sup>1)</sup> wurde der Anbau von Faserhanf in Deutschland 1996 nach langjährigem Verbot wieder gestattet. Hanfhaltige Lebensmittel erlebten in den letzten Jahren eine Renaissance. Nach der Legalisierung des Faserhanf-Anbaus wurden Hanflebensmittel zunächst in Esoterikläden in Verkehr gebracht, da durch den Verzehr psychoaktive Wirkungen erhofft wurden. Aufgrund vermeintlicher positiver ernährungsphysiologischer Eigenschaften und gesundheitsfördernder Wirkungen wurden Hanflebensmittel in den letzten Jahren verstärkt in Bioläden und Reformhäusern angeboten. Als erstes Hanflebensmittel wurde im Jahr 1995 Hanföl angeboten<sup>2)</sup>. Heute ist eine

Vielzahl hanfhaltiger Lebensmittel erhältlich, z.B. Hanfblätter (Tee), Hanfsamen, Hanföl, Hanfmehl, Getränke (Bier, Limonade) sowie kosmetische Mittel. Mittlerweile findet auch über das Internet ein reger Handel mit Hanflebensmitteln statt.

In diesem Artikel wird die Entwicklung der Hanflebensmittel seit 1996 hinsichtlich des psychoaktiven Inhaltsstoffs  $\Delta^9$ -Tetrahydrocannabinol (THC) beschrieben, toxikologisch-analytische Aspekte werden diskutiert, sowie Beurteilungshilfen für die amtliche Lebensmittelüberwachung gegeben.

## 2 Hanf – *Cannabis sativa* L.

Die Hanfpflanze *Cannabis sativa* L. (Cannabaceae) ist eine sehr alte Kulturpflanze, die aus den gemäßigten Breiten Zentralasiens bis Nordwestindien stammt und deren Sprossachsenfasern schon im zweiten Jahrtausend v. Chr. in China zur dort erfundenen Papierherstellung genutzt wurden. Die bis zu 5 m hohe Pflanze ist einjährig und zweihäusig, im männlichen Geschlecht schwächer entwickelt als die weiblichen Individuen, die stärker verzweigt und reicher belaubt sind. Die Pflanze trägt gegenständige, tief handförmig geteilte Blätter und bildet endständige Blütenstände<sup>3,4)</sup> (Abb. 1).

Auf der ganzen Oberfläche der Pflanze, außer Samen und Wurzeln, befinden sich Drüsenhaare, besonders dicht auf der Unterseite der Tragblätter entlang der Blattadern und der Blätter im Bereich der Blütenstände, die Harz bilden, welches zu 80–90 % aus Cannabinoiden sowie ätherischen Ölen, hochpolymeren Phenolen, Terpenen und Wachsen besteht<sup>5,6)</sup>.

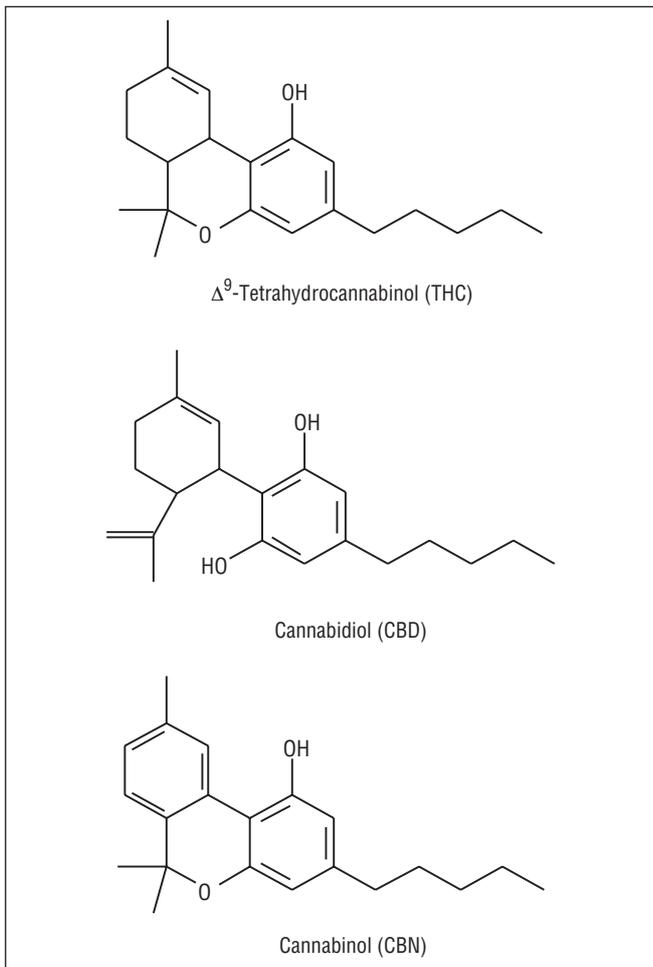
Cannabinoiden bilden eine Stoffklasse terpenophenolischer Verbindungen, die nur in der Hanfpflanze vorkommen.  $\Delta^9$ -Tetrahydrocannabinol (THC) ist der psychoaktive Inhaltsstoff; neben 60 bekannten Cannabinoiden sind Cannabidiol (CBD) und Cannabinol (CBN) weitere Hauptbestandteile<sup>7)</sup> (Abb. 2). Abhängig vom THC-Gehalt kann zwischen Drogenhanf und Faserhanf unterschieden werden. Die Phänotypen von *Cannabis sativa* werden durch das Verhältnis (THC+CBN)/CBD charakterisiert<sup>8–11)</sup> (Drogenhanf > 1; Faserhanf < 1).

Die größten Drüsenhaare werden an weiblichen Hanfpflanzen in den Blütenregionen und hier besonders auf den Blättern und Samenhüllblättern vorgefunden. Der Cannabi-

<sup>#</sup> Lachenmeier@web.de, Tel.: 0721-926-5434 Fax: 0721-926-5539, www.cvua-karlsruhe.de



**Abb. 1** Hanf (*Cannabis sativa* L.) Zeichnung von Pflanze, Blüten und Früchten und Samen (Zeichnung W. Müller<sup>4</sup>). Die Blätter der Hanfpflanze werden zu Hanftée, die Samen zu Mehl oder Öl verarbeitet



**Abb. 2** Strukturformeln von THC, CBD und CBN, den Hauptcannabinoiden von Hanf (*Cannabis sativa* L.)

noidanteil korreliert dabei mit der Menge der Drüsenhaare<sup>5,6</sup>.

Generell können jedoch bis auf die Samen alle Pflanzenteile Cannabinoide enthalten, die in den Samen gefundenen Cannabinoidspuren sind auf Kontaminationen durch cannabinoidreiche Pflanzenteile zurückzuführen (siehe Kapitel 9.2). Die Konzentration von THC in den Samen hängt dabei vom Pflanzentyp ab (Faser- oder Drogenhanf), sowie von dem Grad der Kontamination bei der Ernte. Die Sauberkeit der Samen spielt die größte Rolle bei der vorhandenen Konzentration an THC in den Samen. THC befindet sich zu größten Teilen auf der Oberfläche der Samenschale. Nur sehr geringe THC-Mengen werden im Inneren der Samen aufgefunden (weniger als 2 mg/kg bei Drogenhanf und weniger als 0,5 mg/kg bei Faserhanf)<sup>12</sup>. Für die Verwendung in Lebensmitteln muss sichergestellt sein, dass die THC-Gehalte der Samen weder durch Verunreinigungen mit THC-reichen Pflanzenteilen noch durch entsprechende Anbaubedingungen erhöht werden<sup>13</sup>.

Vor allem die Blüten der weiblichen Pflanze scheiden aus den Drüsenhaaren ein cannabinoidreiches Harz aus, das in Indien Haschisch (THC-Gehalt 5–20%) genannt wird, während in Südamerika für die harzverklebten Infloreszenztriebe die Bezeichnung Marihuana (THC-Gehalt 0,5–7%) gebräuchlich ist<sup>3,14</sup>. Drogenhanf wird meist illegal angebaut oder das Harz auf Faser- und Samenhanffeldern nebenher gewonnen<sup>3</sup>.

Wegen der Drogenproblematik wurde in Frankreich und in der früheren Sowjetunion in den 70er Jahren mit der Züchtung auf niedrigen THC-Gehalt begonnen, gefolgt von Ungarn zu Beginn der 80er Jahre<sup>15</sup>. Heutige Faserhanfsorten weisen daher einen den EU-Vorgaben entsprechenden THC-Gehalt von weniger als 0,2 % auf (siehe Kapitel 4). Es gelang sogar die Selektion von Phänotypen mit weniger als 0,05 % THC<sup>15,16</sup>. Psychoaktive Effekte beim Konsum von Faserhanfpflanzenteilen konnten nicht beobachtet werden<sup>17</sup>.

Neben dem Phänotyp der Pflanze hängt der Cannabinoidgehalt stark von den klimatischen Verhältnissen des Anbaus ab. Einige Autoren beobachteten sowohl bei Drogenhanf als auch bei Faserhanf höhere THC-Gehalte in wärmeren und trockeneren kontinentalen Gebieten als bei maritimen Klima<sup>18–20</sup>. Cannabispflanzen entwickeln dort mehr Drüsenhaare und produzieren damit mehr Cannabinoide<sup>5</sup>. Bazzaz et al.<sup>21</sup> dagegen wiesen sowohl bei tropischen als auch gemäßigten Herkunftsarten eine signifikante Abnahme der Cannabinoidgehalte mit steigender Temperatur nach. Ältere Untersuchungen belegten, dass der Harzgehalt weniger vom Klima als von der Hanfsorte abhängt, so dass auch in Mitteleuropa der Anbau von THC-reichem Hanf für pharmazeutische Zwecke möglich ist<sup>22,23</sup>. Es ist auch nicht auszuschließen, dass THC-arme Kulturrassen unter gewissen Anbaubedingungen erhöhte THC-Gehalte aufweisen<sup>24</sup>. Generell sind große Abweichungen im Harz und Fasergehalt der Spezies *Cannabis* zu beobachten, so dass es oft unklar ist, ob die Abweichungen auf genetisch unterschiedlichen

Varietäten oder auf Umwelteinflüssen beruhen<sup>25</sup>).

Die Hanfpflanze ist in erster Linie Faserlieferant. Als Nebenprodukt erntet man die Früchte, kleine runde Nüsse (üblicherweise als Hanfsamen bezeichnet), die traditionell als Vogel- oder Fischfutter verkauft werden oder wegen ihres Fettgehaltes von 30–35 % zur Ölgewinnung gemahlen und gepresst werden. Dabei fällt ein grünes, mittelstark trocknendes Öl an, dessen Glyceride zu 40–60 % aus Linolsäure und zu 14–28 % aus Linolensäure bestehen<sup>3</sup>.

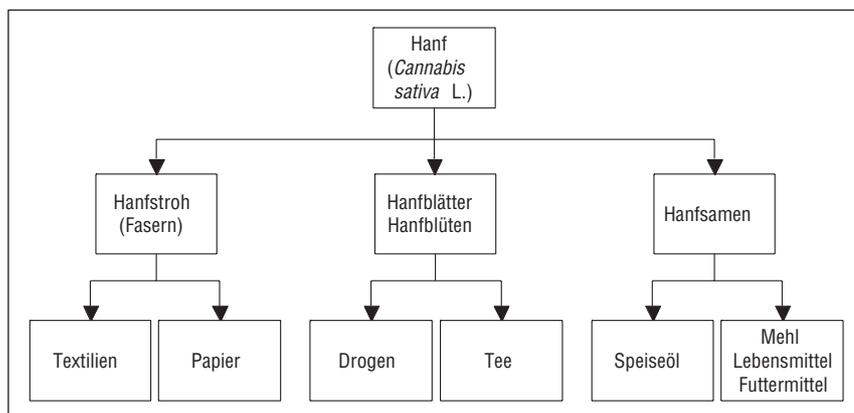


Abb. 3 Möglichkeiten der industriellen Verwertung der Hanfpflanze

### 3 Hanf als Lebensmittel

Alle Teile der Hanfpflanze sind restlos verwertbar (Abb. 3). Neben der Verwendung von Samen und Blättern als Lebensmittel ist auch der Einsatz von Hanffasern bei der Herstellung von Textilien oder Papier möglich. Die bei der Ölgewinnung anfallenden Pressrückstände werden als Viehfutter verwendet. Das vielversprechendste Produkt des Cannabisanbaus zur Nutzung als Lebensmittel ist der Samen und daraus abgeleitete Produkte<sup>26</sup>. Das Protein des Cannabissamens enthält alle 8 essentiellen Aminosäuren in den für die menschliche Ernährung notwendigen Proportionen<sup>26,27</sup>. Das Hanföl enthält den höchsten Anteil ungesättigter Fettsäuren aller Pflanzenöle und ernährungsphysiologisch wertvolle Anteile an essentiellen Fettsäuren (ca. 75 %) <sup>27,28</sup>. Ein Problem besteht darin, dass die ungesättigten Fettsäuremoleküle anfällig gegen Oxidation sind, insbesondere bei Exposition von Licht oder Hitze<sup>29</sup>. Daher weist Hanföl auch im Vergleich mit anderen kaltgepressten Ölen wie Olivenöl eine wesentlich kürzere Haltbarkeit auf, die die Vermarktung erschwert<sup>26,30</sup>. Hanföle werden zudem von vielen Verbrauchern aufgrund des ungewohnten Geschmacks und Geruchs gemieden<sup>29</sup>.

Die Verwendung von Hanf als Lebensmittel ist derzeit nur eingeschränkt möglich, da die verfügbaren Hanfsorten hinsichtlich eines hohen Faserertrags und nicht auf einen hohen Samenertrag gezüchtet wurden<sup>31</sup>. Die Ölgehalte der Früchte variieren stark zwischen 9 und 34 %. Wichtigstes Zuchtziel ist daher, unter mitteleuropäischen Bedingungen sicher zur Samenreife zu kommen<sup>15</sup>. Züchterisches Potential besteht auch hinsichtlich einer Erhöhung des Gamma-Linolensäuregehaltes, sowie des Tocopherolgehaltes zum Oxidationsschutz des Öles<sup>30</sup>.

### 4 Gesetzeslage

Die THC-Höchstwerte für Hanf (gemessen im oberen Pflanzendrittel) wurden in der Europäischen Union (EU) stufenweise von 0,5 % (1984) auf 0,2 % (seit 2002) abgesenkt<sup>32</sup>. In

der Schweiz dürfen dagegen alle *Cannabis*-Pflanzentypen legal angebaut werden und Varietäten mit hohem THC-Gehalt sind üblich, allerdings wurden THC-Grenzwerte für Hanflebensmittel festgelegt<sup>29</sup>. Nach Freigabe des Faserhanfanbaus im Jahre 1996<sup>1</sup> wurde in Deutschland bereits 1997 vom damaligen Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV, heute: Bundesinstitut für Risikobewertung, BfR) eine duldbare tägliche Aufnahmemenge von 1–2 µg/kg KG/Tag abgeschätzt<sup>13</sup>, aus der im Jahr 2000 folgende THC-Richtwerte für Lebensmittel abgeleitet wurden: Getränke (alkoholisch und nicht alkoholisch): 5 µg/kg, Speiseöle: 5000 µg/kg, andere Lebensmittel: 150 µg/kg<sup>33</sup>.

Der Hanfanbau zur Faserproduktion wird in der EU bezuschusst. Der internationale Suchtstoffkontrollrat (INCB, ein Organ der Vereinten Nationen) stellte fest, dass sich parallel zur Ausweitung des Hanfanbaus in der Europäischen Union ein umfangreicher Absatzmarkt für Nahrungsmittel auf Basis von *Cannabis* entwickelt habe, wobei die Auswirkungen dieser Produkte auf die Gesundheit noch nicht erforscht seien. Zudem werde bei Verwendung der Hanfsamen oder -blätter in der Nahrungsmittelindustrie das Problem gesehen, dass dadurch – selbst bei einer Verwendung von THC-freien Pflanzen – *Cannabis* als Droge verharmlost wird. Hanflebensmittel seien für die Ernährung ohnehin nicht notwendig<sup>13,34</sup>. Keines dieser Erzeugnisse darf daher als solches durch eine EU-Beihilfe gefördert werden. Angesichts der biologischen Ähnlichkeiten zwischen Hanf, der für industrielle Zwecke verwendet wird, und solchem, aus dem psychotrope Substanzen gewonnen werden, führt die EU regelmäßige Kontrollen durch, um zu prüfen, ob die Beihilfe dem rechtswidrigen Hanfanbau Vorschub leistet. Bei den meisten Erzeugern wird der THC-Gehalt jährlich vor Ort kontrolliert. Dadurch wird sichergestellt, dass nur Saatgut von Varietäten mit niedrigem THC-Gehalt entsprechend den geltenden Höchstwerten verwendet wird. Es zeigte sich dabei, dass durch die neuen, verschärften Vorschriften die Risiken des Anbaus von stark THC-haltigen Pflanzen zwar nicht völlig aus der Welt geschafft, aber doch auf ein Mindestmaß verringert wurden<sup>34</sup>.

## 5 Forensisch-toxikologische Aspekte

Beim Menschen wurde nach oraler Aufnahme von Drogenhanfprodukten (Haschisch, Marihuana) eine Vielzahl unerwünschter Wirkungen beobachtet<sup>13,35</sup>. Als wirksame Rauschdosis werden 10 bis 20 mg THC bei einer inhalativen Aufnahme angesehen. THC wird rasch verstoffwechselt zu 11-Hydroxy- $\Delta^9$ -Tetrahydrocannabinol (11-OH-THC), das weiter zum Hauptmetaboliten 11-Nor- $\Delta^9$ -Tetrahydrocannabinol-9-Carbonsäure (THC-COOH) metabolisiert wird. Diese Carbonsäure wird zu vergleichbaren Teilen in freier Form und als Glucuronid im Urin ausgeschieden. THC und 11-OH-THC sind psychotrop wirksam, während THC-COOH und dessen Glucuronid pharmakologisch keine Wirkung zeigen. Der Metabolit THC-COOH und insbesondere sein Glucuronid weisen relativ lange Halbwertszeiten auf, die bei bis zu acht Tagen liegen können. Daher können diese Stoffe durch regelmäßigen Konsum im Körper kumulieren. Sehr hohe Konzentrationen findet man nur bei Personen, die regelmäßig Haschisch oder Marihuana konsumieren. Selbst nach Einstellung des regelmäßigen Konsums, lassen sich diese Metaboliten noch mehrere Wochen im Blut und teilweise sogar länger als 3 Monate im Urin nachweisen<sup>14</sup>.

Die Resorption von oral aufgenommenem THC variiert interindividuell stark sowohl bezüglich Gesamtmenge wie auch Resorptionsgeschwindigkeit<sup>36</sup>. Dies dürfte einer der Gründe für die individuell sehr unterschiedliche psychotrope Wirkung sein. Eine einmalige orale Dosis von 20 mg THC führte bei Erwachsenen innerhalb von 1 bis 4 Stunden zu Symptomen wie Tachykardie, konjunktivaler Reizung, "High-Gefühl" oder Dysphorie. Bei einem von 5 Erwachsenen ergab eine einmalige Dosis von 5 mg bereits entsprechende Symptome. Eine Marihuana-Zigarette enthält etwa 30 bis 50 mg THC<sup>37</sup>.

In den Jahren 1996/1997 wurden einige Fälle von Intoxikationen mit Hanflebensmitteln in der Schweiz bekannt. 4 Fälle von akzidenteller THC-Intoxikation wurden von Meier und Vonesch<sup>37</sup> beschrieben. Nach Verzehr eines mit Hanföl zubereiteten Salats traten gastrointestinale Beschwerden und Wahrnehmungsstörungen auf. Das verwendete Öl wies mit 1500 mg/kg THC einen deutlich über dem Schweizer Grenzwert liegenden Gehalt an THC auf. In einer Portion des Speiseöls (13 g) waren 20 mg THC enthalten, eine Menge, die die oben beschriebenen Symptome auslösen kann. Als Ursache für den hohen Gehalt des Öles wurde ein Herstellungsfehler vermutet<sup>37</sup>. Auch nach Konsum von Hanfttee wurden Intoxikationen beschrieben<sup>38</sup>.

Die Anwesenheit von THC in hanfhaltigen Lebensmitteln hat neben der Problematik möglicher psychoaktiver Effekte auch Bedenken aufgeworfen, dass bei Drogentests positive Ergebnisse erhalten werden<sup>39</sup>. *Cannabis*-positive Ergebnisse bei Blut- bzw. Urinuntersuchungen können unangenehme Folgen für den Betroffenen haben, da ein positiver Befund bislang als Hinweis auf eine vorangegangene Aufnahme von *Cannabis*, in der Regel in Form von Haschisch

oder Marihuana, interpretiert wird. Unangenehme Folgen könnte dies auch für Personengruppen haben, die eine Drogenabstinenz nachweisen müssen. Andererseits ist heute vor Gericht die Schutzbehauptung möglich, dass ein positiver Test durch einen Konsum von Hanflebensmitteln verursacht ist.

In ersten Studien nach Aufkommen der Hanflebensmittel, in denen noch wesentlich höhere THC-Konzentrationen vorlagen als heute, wurden positive Ergebnisse bei forensisch-toxikologischen Drogentests auf Haschisch oder Marihuana nach Konsum von Hanföl<sup>40-45</sup> und anderen Hanflebensmitteln<sup>46,47</sup> beschrieben. Die meisten dieser Studien wurden 1996–1997 durchgeführt, wobei THC-Gehalte von mehr als 50 mg/kg vorlagen. Beispielsweise war bereits wenige Stunden nach oraler Aufnahme eines Hanföls (151 µg/ml THC) im Urin THC-COOH nachzuweisen. Nach einer Einnahme von 40–90 ml Öl konnte im Urin bis zu 80 Stunden THC-COOH gefunden werden. Nach einer Aufnahme von 40 ml Hanföl wurden in Blutproben THC-Serumspiegel von bis zu 6 ng/ml nachgewiesen<sup>40,45,47</sup>.

Mit der Verringerung von THC in den Hanflebensmitteln (siehe Kapitel 7.1) ging auch eine Verringerung der Gehalte an THC-Metaboliten im Urin der Konsumenten einher. In einer Studie aus dem Jahr 2001 wurden bei Maximalgehalten von 5 mg/kg und bei einer täglichen Aufnahme von bis zu 0,6 mg THC keine positiven Urintests erhalten<sup>48</sup>.

In einer aktuellen Studie<sup>11</sup>) konnten nach dem Konsum von 6 Tassen (0,2 l) Hanfttee (0,23 mg/kg THC) über eine Zeitdauer von 2 Stunden mittels einer immunchemischen Standardscreeningmethode keine THC-Metaboliten im Urin von sechs Probanden ermittelt werden. Dies bestätigte auch frühere Ergebnisse anderer Arbeitsgruppen wonach übermäßiger Konsum aktuell im Handel erhältlicher Hanflebensmittel (z. B. Hanfbier) keine positive Urinanalyse verursacht<sup>48-55</sup>. Nur die Aufnahme von Hanfnahrungsmitteln mit hohen Konzentrationen von THC, die im freien Handel nicht mehr erhältlich sind, kann positive Resultate produzieren<sup>56,57</sup>. In kosmetischen Mitteln wie Hanfshampoo ist der THC-Gehalt sehr niedrig, so dass ein Einfluss auf forensisch-toxikologische Haaranalysen ebenfalls nicht nachgewiesen werden konnte<sup>55,58-60</sup>.

Heute kann man daher davon ausgehen, dass durch Faserhanfprodukte keine Beeinträchtigung forensisch-toxikologischer Drogentests eintritt, sofern diese Produkte den geltenden Richtwerten entsprechen.

## 6 Analytik von THC in Lebensmitteln

Gaschromatographie in Verbindung mit Massenspektrometrie (GC/MS) ist die Methode der Wahl für die Bestimmung von Cannabinoiden in Hanflebensmitteln<sup>11,12,29,40,44,46,47,49,51,52,54,61-64</sup> (Tab. 1). In Einzelfällen wurden Dünnschichtchromatographie<sup>65</sup>, Flüssigkeitschromatographie in Verbindung mit Ultraviolett- und Fluores-

zenzdetektion<sup>38)</sup> oder Massenspektrometrie<sup>28)</sup>, sowie immunchemische Screeningmethoden<sup>40,51,52,66)</sup> vorgeschlagen. Als offizielle Gemeinschaftsmethode<sup>67)</sup> für die mengenmäßige Bestimmung des THC in Hanfsorten wird Gaschromatographie in Verbindung mit Flammenionisationsdetektion verwendet.

Die beschriebenen gaschromatographischen Methoden liefern das sog. Gesamt-THC, das auch nach der Empfehlung des BgVV für die Beurteilung eines hanfhaltigen Lebensmittels zu Grunde zu legen ist. Neben dem THC selbst gehören dazu auch Vorstufen, die sich unter bestimmten Bedingungen in THC umwandeln. Wichtigster Stoff ist diesbezüglich die sogenannte Precursorsäure  $\Delta^9$ -Tetrahydrocannabinol-carbonsäure-A (THCS). Diese wandelt sich bei höheren Temperaturen durch Decarboxylierung in THC um. Der pragmatische Grund für das Einschließen von THCS, das keine psychotrope Wirkung aufweist, ist die unvermeidliche Miterfassung bei der üblicherweise angewandten gaschromatographischen Quantifizierung und die Möglichkeit, dass der THC-Gehalt auch bei einer Wärmebehandlung der Lebensmittel zunehmen könnte. Auch bei anderen Analyseverfahren muss THCS daher vor oder während der Analyse zu THC decarboxyliert werden. Insbesondere bei HPLC-Bestimmungen können daher zu niedrige THC-Werte gemessen werden, da hier keine Decarboxylierung wie bei gaschromatographischen Bestimmungen durch die hohe Temperatur im Injektor oder in der Trennsäule erfolgt<sup>68)</sup>. Vor HPLC Bestimmungen kann daher eine thermische Decarboxylierung erfolgen, bei der THCS vollständig und ohne oxidative Bildung von Cannabinol in das neutrale THC umgewandelt wird<sup>68-71)</sup>, oder eine simultane Bestimmung von THC und THCS<sup>72)</sup>. Eine gaschromatographische Differenzierung von THC und THCS ist nach vorhergehender Derivatisierung möglich.

Zur Probenvorbereitung wird meist die traditionelle Flüssig-Flüssig-Extraktion (FFE) verwendet, die jedoch zeitaufwendig ist und große Mengen von Lösungsmitteln erfordert. Für flüssige Matrices (Hanfbier, Hanföl) wird Festphasenextraktion (Solid-phase extraction, SPE) zur Probenvorbereitung empfohlen<sup>44,49,52,54)</sup>.

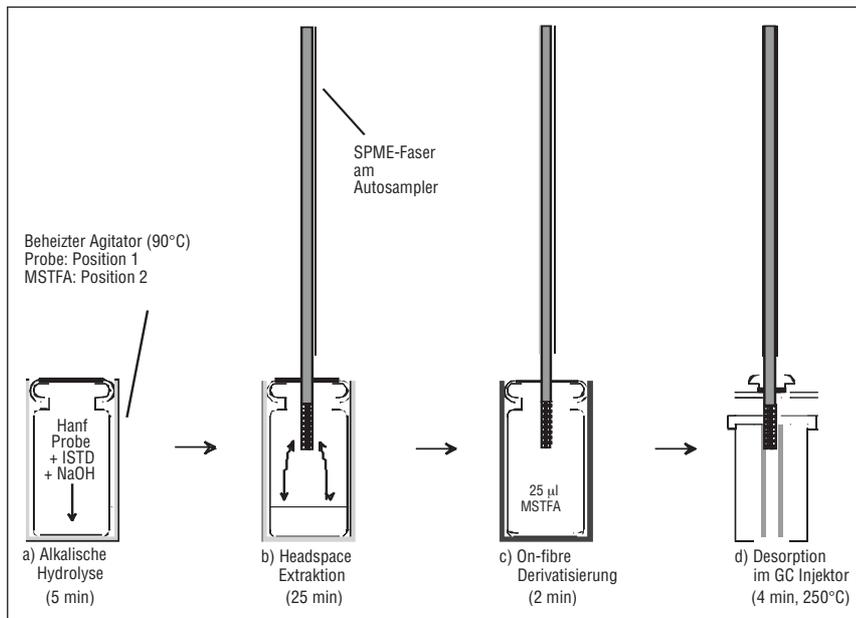
Als Alternative zu diesen etablierten Probenvorbereitungsmethoden kann die

Headspace-Festphasenmikroextraktion (Solid-Phase Microextraction, SPME) eingesetzt werden. Trotz der nur geringen Flüchtigkeit der Cannabinoide und der Möglichkeit einer Phenolatbildung im alkalischen Aufschlussmedium lässt sich diese Stoffgruppe mittels SPME reproduzierbar aus dem Headspace extrahieren, da die lipophilen Verbindungen vergleichsweise hohe Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizienten aufweisen und damit eine hohe Affinität zur unpolaren Polydimethylsiloxan (PDMS) SPME-Faser besitzen<sup>73-75)</sup>. Eine vollständig automatisierte HS-SPME-Methode zur Bestimmung von THC, CBD und CBN in allen Arten von Hanflebensmitteln wurde kürzlich von *Lachenmeier et al.*<sup>11)</sup> entwickelt. Die Lebensmittelproben werden nach Zugabe des deuterierten internen Standards mit Natriumhydroxid hydrolysiert und direkt mit HS-SPME/GC/MS vermessen. Die Absorption von THC erfolgt bei der SPME an einer von außen mit PDMS beschichteten Faser, die zur Anreicherung der Analyten in den Headspace über der Probe exponiert wird. Nach der Absorption der Analyten wird die SPME-Faser zur Derivatisierung direkt im Headspace eines zweiten Gefäßes mit *N*-Methyl-*N*-trimethylsilyl-trifluoacetamid (MSTFA) exponiert (On-Fiber-Derivatisierung). Nach dieser lösungsmittelfreien Extraktion und Derivatisierung erfolgt die Desorption durch Einführung der Faser in den heißen Injektor des GC/MS-Systems (Abb. 4). Durch die Extraktion aus dem Headspace werden Matrixstörungen stark verringert. Ein typisches HS-SPME-Chromatogramm einer Hanflebensmittelprobe ist in Abb. 5 dargestellt. Ein

**Tab. 1** Zusammenstellung von Analysemethoden zur Bestimmung von THC in hanfhaltigen Lebensmitteln

Matrix	Probenvorbereitung	Methode	Nachweisgrenze	Lit.
Hanfbier	SPE, Deriv. (Methylierung)	GC-MS	1 µg/l	49)
Hanfbier	SPE, Deriv. (BSTFA)	GC-MS	1 ng/ml	52)
		Immunoassay		
Hanföl	FFE (Methanol)	GC-MS		62,63)
Hanföl	FFE (Methanol) SPE	GC-MS	1 mg/kg	44)
Hanföl	FFE (Acetonitril) SPE, ggf. Deriv. (MSTFA)	GC-MS		54)
		Immunoassay		
Hanftee	FFE (Petrolether)	GC-FID, GC-MS		46)
Samen	FFE (Chloroform/Methanol (99:1), Hexan/Ethylacetat (9:1)), SPE	GC/MS		12)
Samen	FFE (Benzol)	DC		65)
Div. Hanflebensmittel	FFE (Methanol oder Ethylacetat)	GC-MS		40,45, 47,51)
		Immunoassay		
Div. Hanflebensmittel	FFE (Methanol, Methanol/Dichlormethan (9:1, v/v))	HPLC-UV	0,01 ng	38)
		HPLC-FD		
Div. Hanflebensmittel	FFE (Hexan), Verseifung	GC-MS	12,9–17,3 µg/kg	64)
Div. Hanflebensmittel	HS-SPME, On-fibre Deriv. (MSTFA)	GC-MS	0,01–0,05 mg/kg	11)

FFE: Flüssig-Flüssig-Extraktion, GC: Gaschromatographie, FID: Flammenionisationsdetektor, MS: Massenspektrometrie, DC: Dünnschichtchromatographie, SPE: Solid-Phase Extraktion (Festphasenextraktion), HS-SPME: Headspace Solid-Phase Microextraction (Festphasenmikroextraktion), Deriv.: Derivatisierung, BSTFA: *N,O*-Bis-trimethylsilyl-trifluoacetamid, MSTFA: *N*-Methyl-*N*-trimethylsilyl-trifluoacetamid



**Abb. 4.** Bestimmung von Cannabinoiden in hanfhaltigen Lebensmitteln mittels HS-SPME/GC/MS (nach Lit.<sup>11)</sup>)

besonderer Vorzug des automatisierten SPME-Verfahrens ist die Zeitersparnis im Vergleich zu traditionellen Verfahren wie Flüssig-Flüssig-Extraktion. Die Methode ist bei gleicher Empfindlichkeit und Reproduzierbarkeit ohne Einsatz von Lösungsmitteln, mit minimalen Probenmengen und einfach durchführbar.

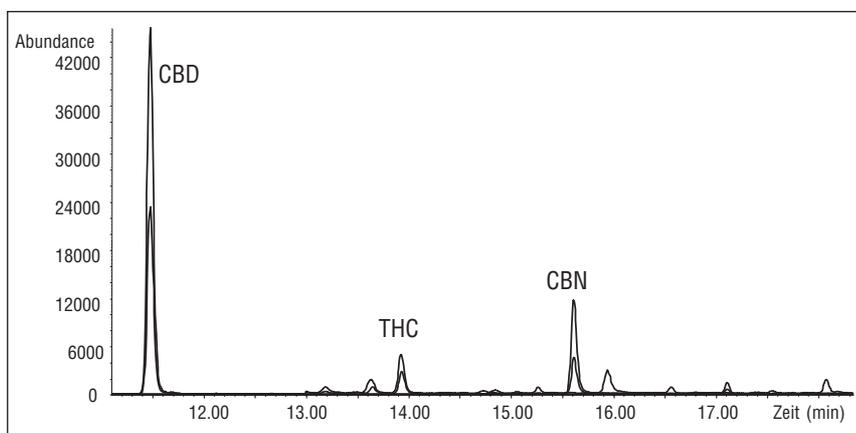
## 7 Lebensmittelchemische Beurteilung

### 7.1 THC-Gehalte von Hanflebensmitteln

Hanfhaltige Lebensmittel, selbst aus Faserhanf gewonnene, enthalten im allgemeinen messbare Mengen von THC. Frühere Analysen von Hanföl zeigten einen weiten Konzentrationsbereich zwischen 11,5–117,5 mg/kg<sup>54)</sup> und 7–150 mg/kg<sup>47)</sup>. Die höchsten Konzentrationen in Öl wurden von Schweizer Arbeitsgruppen berichtet, weil Produkte aus

turkcost- bzw. Bioläden, im konventionellen Einzelhandel oder direkt bei den Herstellern, nur 33 % der Proben wurden in sog. Headshops bzw. Esoterikgeschäften in den Verkehr gebracht. In 15 Produkten (79 %) konnte THC nachgewiesen werden, in 4 Produkten (21 %) war kein Nachweis möglich. Im Vergleich zu früheren Untersuchungen wurden in den letzten Jahren nur verhältnismäßig geringe THC-Konzentrationen ermittelt. Die Senkung der THC-Grenzwerte für Saatgut scheint damit den erwünschten Effekt erreicht zu haben, auch die Gehalte in den Lebensmitteln zu senken.

Die Ergebnisse des CVUA Karlsruhe werden durch eine kürzlich erschienene Publikation bestätigt, in der 30 Hanflebensmittel untersucht wurden<sup>11)</sup>. Auch dort wurde nur in Einzelfällen eine Überschreitung des THC-Richtwertes festgestellt. Der THC-Gehalt von Hanfttee lag zwischen 4,37 mg/kg und 15,53 mg/kg in den Teeblättern und zwischen 0,04 und



**Abb. 5** Typisches HS-SPME/GC/MS-SIM-Chromatogramm eines Hanftees mit 15,5 mg/kg THC, 47,1 mg/kg CBD und 1,36 mg/kg CBN nach Lit.<sup>11)</sup> (m/z 390, 337, 371, 386, 367, 368)

Drogenhanf untersucht wurden: 4,1–880 mg/kg<sup>38)</sup>, 3–1500 mg/kg<sup>44)</sup>, und sogar 2–3568 mg/kg<sup>29)</sup>. Bei Hanfttee wurden THC-Gehalte zwischen 1020–1480 mg/kg<sup>38)</sup> und 5000 mg/kg<sup>46)</sup> in den Teeblättern, sowie 1,0 mg/kg<sup>38)</sup> und 2,4 mg/kg<sup>46)</sup> im entsprechenden Teeaufguss bestimmt. Niedrige THC-Konzentrationen wurden nur in Getränken wie Bier (0,004–0,016 mg/l<sup>49)</sup>) und Likör (0,02 mg/l<sup>51)</sup>), sowie in den Samen (0–12 mg/kg<sup>12)</sup>, 3,9–5,2 mg/kg<sup>38)</sup>) bestimmt.

Neben den genannten Studien der Jahre 1996–2000 liegen nur wenige aktuelle Daten über THC-Gehalte von Hanflebensmitteln in der Literatur vor. Vom Chemischen und Veterinäruntersuchungsamt Karlsruhe wurden 19 Hanflebensmittel auf ihren THC-Gehalt hin untersucht. Die Probenahme erfolgte zum überwiegenden Teil (67 %) in Naturkost- bzw. Bioläden, im konventionellen Einzelhandel oder direkt bei den Herstellern, nur 33 % der Proben wurden in sog. Headshops bzw. Esoterikgeschäften in den Verkehr gebracht.

In 15 Produkten (79 %) konnte THC nachgewiesen werden, in 4 Produkten (21 %) war kein Nachweis möglich. Im Vergleich zu früheren Untersuchungen wurden in den letzten Jahren nur verhältnismäßig geringe THC-Konzentrationen ermittelt. Die Senkung der THC-Grenzwerte für Saatgut scheint damit den erwünschten Effekt erreicht zu haben, auch die Gehalte in den Lebensmitteln zu senken.

Die Ergebnisse des CVUA Karlsruhe werden durch eine kürzlich erschienene Publikation bestätigt, in der 30 Hanflebensmittel untersucht wurden<sup>11)</sup>. Auch dort wurde nur in Einzelfällen eine Überschreitung des THC-Richtwertes festgestellt. Der THC-Gehalt von Hanfttee lag zwischen 4,37 mg/kg und 15,53 mg/kg in den Teeblättern und zwischen 0,04 und

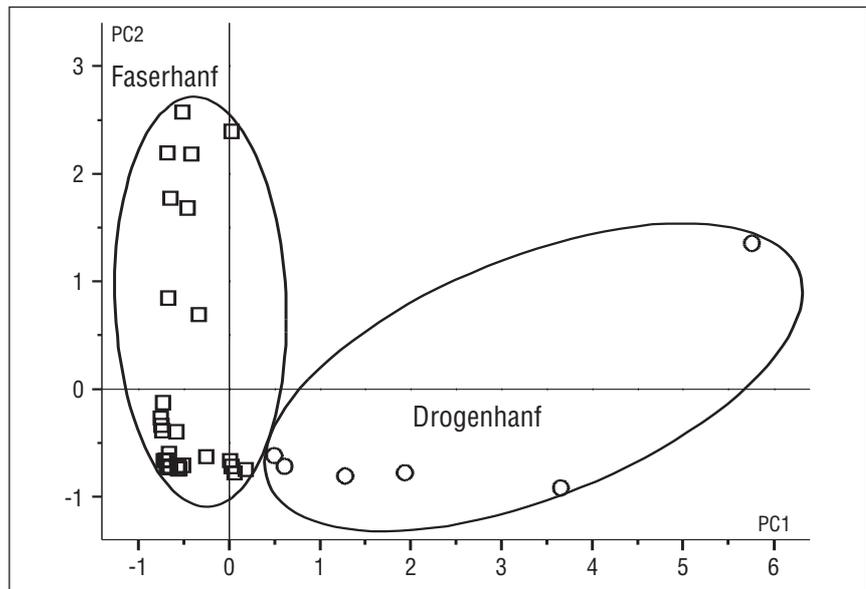
0,23 mg/kg im Aufguss, wobei die deutschen Richtwerte von 0,005 mg/kg für Getränke überschritten wurden. Hohe Gehalte über den Richtwerten von 0,15 mg/kg für andere Lebensmittel wurden in Samen und Mehl (0,29–1,07 mg/kg), Aufschnitt (0,20 mg/kg) und *Cannabis*-Pastillen (0,16 mg/kg) nachgewiesen. Ein Hanföl überschreitet die Richtwerte für Speiseöl von 5 mg/kg. Die Mehrzahl der untersuchten Proben wies jedoch THC-Konzentrationen unterhalb der Richtwerte auf (0,01–4,44 mg/kg). In zwei Getränken (Limonade und Bier) konnte kein THC nachgewiesen werden, CBD und

CBN waren dagegen in allen Proben vorhanden.

Die in der Europäischen Union vorgeschriebene Verwendung von zertifizierten Faserhanf-Samen und die Verschärfung der Kontrollen der Produzenten hat damit zu einem signifikanten Rückgang der THC-Gehalte in Lebensmitteln geführt. Auch aus den USA wurde wegen sorgfältigerer Samenaufreinigung von einem erheblichen Rückgang der THC-Gehalte seit 1998 berichtet<sup>48)</sup>. Die maximalen THC-Gehalte in aktuell erhältlichen Hanflebensmitteln<sup>11)</sup> liegen zehnbis hundertmal niedriger als bei in den neunziger Jahren durchgeführten Studien<sup>29,38,44,46,47,54)</sup>. Unter Einbeziehung von Literaturangaben und eigener Untersuchungen des CVUA Karlsruhe wurden zwischen 1998 und 2003 statistisch signifikante lineare Abnahmen der THC-Konzentrationen bei den Lebensmittelgruppen Hanfttee (N = 19, R = -0,73, p < 0,0001) und Hanföl (N = 60, R = -0,23, p = 0,05) gefunden. Bei den Lebensmittelgruppen Samen (N = 27, R = -0,29, p = 0,13) und Getränke (N = 34, R = -0,21, p = 0,22) ließ sich der Rückgang auf dem 5 %-Signifikanzniveau nicht eindeutig belegen.

### 7.2 Herkunft des zur Lebensmittelherstellung verwendeten Hanfs

Kürzlich wurde gezeigt, dass sich bei gleichzeitiger Bestimmung von THC, CBD und CBN in hanfhaltigen Lebensmitteln das *Cannabis*-Phänotyp-Verhältnis (THC+CBN)/CBD berechnen und Faserhanf von Drogenhanf selbst als Zutat in Lebensmitteln unterscheiden lässt (Abb. 6)<sup>11)</sup>. In der Regel war CBD der Analyt mit der höchsten Konzentration, so dass das Phänotyp-Verhältnis < 1 war (Faserhanf-Sorten). Sämtliche Produkte mit angegebener Herkunft aus der EU hatten ein Phänotyp-Verhältnis < 1, daher kann von einer rechtskonformen Verwendung von Faserhanf ausgegangen werden. Nur sechs der untersuchten Proben mit einem Phänotyp-Verhältnis > 1 waren mit Drogenhanf hergestellt. Der Ursprung dieser Produkte konnte interessanterweise z. T. der Schweiz zugeordnet werden. Aufgrund der dortigen liberalen Situation, nach der alle Hanfsorten angebaut werden dürfen, kann hier eine Verwendung von Drogenhanf zur Herstellung von Lebensmitteln angenommen werden. Für die amtliche Lebensmittelüberwachung wird die Analyse der Cannabinoide CBD und CBN neben THC ange-regt, da sich mit dem Phänotyp-Verhältnis zeigen lässt, dass nur der in der EU zulässige Faserhanf für die Lebensmittelherstellung verwendet wurde.



**Abb. 6.** Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis, PCA) zur Visualisierung der Analyseergebnisse von 34 Hanflebensmitteln nach Lit.<sup>11)</sup>. Die erste Komponente (PC1) klassifiziert die Lebensmittel nach Faser- und Drogenhanf. Komponente 2 (PC2) ist abhängig von der Cannabinoidkonzentration

### 8 Lebensmittelrechtliche Beurteilung

Die niedrigste oral verabreichte Dosis an THC, von der bei wiederholter Gabe beim Erwachsenen noch Wirkungen beschrieben werden, beträgt 2,5 mg/Tag. Dies entspricht bei einem Körpergewicht von 60 kg einer Gabe von ca. 40 µg/kg KG/Tag. Lebensmittel, deren Verzehr zur täglichen Aufnahme dieser oder größerer Dosen führen können, sind mit Sicherheit als geeignet anzusehen, die Gesundheit zu beeinträchtigen und wären dementsprechend zu beanstanden. Um Unsicherheiten, wie z. B. Schwankungen der individuellen Empfindlichkeit, kinetischen Besonderheiten (Umverteilung, lange Halbwertszeit), Interaktionen mit anderen Hanf- und Lebensmittelinhaltsstoffen sowie Arzneimitteln, Rechnung zu tragen wurde vom BgVV empfohlen, dass die tägliche Aufnahmemenge 1–2 µg/kg KG nicht überschreiten sollte. Diese Aufnahmemenge liegt um den Faktor 20–40 unter der niedrigsten bekannten Wirkdosis<sup>13)</sup>.

Geringfügige Richtwertüberschreitungen werden im allgemeinen toleriert. Proben, die den jeweiligen Richtwert um mehr als das Doppelte überschreiten, sind als wertgemindert zu beurteilen. Hanflebensmitteln, bei denen der Richtwert so extrem überschritten ist, dass die THC-Gehalte in den Bereich der niedrigsten Wirkdosis fallen, sind nicht mehr zum Verzehr geeignet.

Nach Erkenntnissen des CVUA Karlsruhe ist die Kenntlichmachung „THC-frei“, die von manchen Herstellern vorgenommen wird, eine Verbraucherirreführung, weil erhebliche THC-Mengen in allen diesen Produkten gefunden wurden. Auch Produkte mit einem sehr niedrigen Hanfgehalt, die aber unter besonderer Hervorhebung der ernährungsphysiologischen Eigenschaften von Hanf in Verkehr gebracht werden, sind ebenfalls als irreführend zu beanstanden.

## 9 Beurteilung spezieller Lebensmittelgruppen

### 9.1 Hanfbier

In einer Arbeit von *Hupf et al.*<sup>76)</sup> wurde der Genusswert und damit die Lebensmitteleigenschaft von getrockneten Hanfblütenständen, wässrigen Aufgüssen und Bierauszügen („Hanfbier“) untersucht. Die Autoren schlossen aus umfangreichen organoleptischen Prüfungen, dass diesen Produkten ein signifikanter Genusswert zukommt. Die Lebensmitteleigenschaften überwiegen, ein Zusatzstoffcharakter (z.B. Geschmacksverstärkung), der zunächst von Seiten der amtlichen Lebensmittelüberwachung angenommen wurde<sup>13)</sup>, konnte nicht festgestellt werden. Derartige Produkte fallen auch nicht unter die Anforderungen der Verordnung (EG) Nr. 258/97 über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten (Novel-Food-Verordnung)<sup>77)</sup>. Jedoch wurde von *Eul*<sup>78)</sup> daraufhingewiesen, dass die Zutat „Hanf“ für Bier in Deutschland nach dem deutschen Reinheitsbot nicht zulässig ist. Derzeit sind nur einige Schweizer Produkte unter der Bezeichnung Hanfbier erhältlich. Die THC-Problematik ist bei dieser Produktgruppe von untergeordneter Bedeutung. Das lipophile THC wird offenbar beim Brauprozess nur zu einem geringen Anteil von der wässrigen Würze extrahiert. In Schweizer Hanfbier wurden 1997 von *Iten* und *Coray*<sup>49)</sup> daher nur sehr geringe THC-Gehalte zwischen 3 und 16 µg/l nachgewiesen. In einer aktuellen Studie<sup>11)</sup> und bei eigenen Untersuchungen des CVUA Karlsruhe konnte kein THC in Hanfbier nachgewiesen werden.

### 9.2 Hanfsamen

Ein hoher THC-Gehalt in den Samen und im daraus hergestellten Mehl kann an einer unzureichenden Erntetechnik liegen, die zu einer Kontamination der Samen mit den THC-reichen Blättern führt<sup>12)</sup>, einer schlechten Samenreinigung und -behandlung<sup>29)</sup> oder auf das Fehlverhalten eines Lieferanten, der Samen von Drogenhanfarten in die EU importiert, zurückgeführt werden. Auch die THC-Gehalte von Hanföl sind auf die Extraktion von Blattanteilen und Harz zurückzuführen, die den Samen bei der Ölgewinnung noch anhaften. In der amtlichen Lebensmittelüberwachung sind zusätzlich Chargenunterschiede und Inhomogenitäten bei der Probenahme zu berücksichtigen.

Der THC-Gehalt bei Samen und Ölprodukten ist als Kontamination aufzufassen, die in vielen der erhältlichen Produkte vorliegt<sup>54)</sup>. Zu hohe THC-Gehalte sind daher gemäß Verordnung (EWG) Nr. 315/93 zur Kontrolle von Kontaminanten in Lebensmitteln<sup>79)</sup> zu beanstanden. Danach darf kein Lebensmittel in Verkehr gebracht werden, das einen Kontaminanten in einer gesundheitlich und insbesondere toxikologisch nicht mehr vertretbaren Menge enthält. Kontaminanten sind ferner auf so niedrige Werte zu begrenzen, wie sie durch gute Herstellungspraxis auf allen Produktionsstufen erreicht werden können. Von einem Verstoß gegen die gute Herstellungspraxis kann bei einer Überschreitung der BgVV-Richtwerte um mehr als das doppelte ausgegangen werden.

### 9.3 Hanftee

Wie in Kapitel 7.1 beschrieben werden in Hanftees, d.h. Blättern der Hanfpflanze, regelmäßig sehr hohe, die Richtwerte überschreitende THC-Gehalte vorgefunden. Anders als bei den Samen, wo die THC-Gehalte als Kontamination aufzufassen sind, hat der THC-Gehalt der Hanftees seinen Ursprung in den Drüsenhaaren der Blätter. Eine Beanstandung hinsichtlich der EU-Kontaminanten-Kontrollverordnung<sup>79)</sup> schließt sich damit aus. Für die Beurteilung von Hanftees ist unklar, ob sich die Richtwerte auf die Teeblätter oder das Aufgussgetränk beziehen. Gängige Praxis ist, eine Beurteilung anhand des Endproduktes vorzunehmen. Dazu werden vor der Analyse Teeaufgüsse nach Anweisung des Herstellers hergestellt und dafür der Richtwert von 5 µg/kg zugrundegelegt.

Neben den Beanstandungen bei deutlicher Richtwertüberschreitung wurden insbesondere bei Teeproben Hinweise an die Hersteller gegeben, wenn die zur Orientierung gedachten Richtwerte zwar überschritten waren, eine Beurteilung der Proben als nicht verkehrsfähig aber nicht ausreichend begründet werden konnte. Inhomogenitäten in den Teemischungen führen zu sehr großen Schwankungen der THC-Gehalte dieser Produkte. Die Hersteller wurden bei Richtwertüberschreitungen einzelner Chargen auf ihre Sorgfaltspflicht hingewiesen und es wurden Eigenkontrollmaßnahmen empfohlen. Insbesondere sollte dokumentiert werden, ob und in wie weit der Gehalt an THC jahreszeitlichen und jährlichen Schwankungen unterworfen ist (durch unterschiedliche Vegetationsbedingungen), welche Konsequenzen dies für die Rezeptur hat, und wie der Gehalt an Hanfblättern in der einzelnen Packung überprüft wird.

## 10 Schlussbetrachtung

Kritische Produktgruppen, die von der amtlichen Lebensmittelüberwachung in Zukunft weiterhin intensiv beobachtet werden sollten, sind zum einen die Hanfsamen und daraus abgeleitete Produkte (Hanfmehl, Hanföl). Die eigentlich THC-freien Samen werden durch unzureichende Erntetechnik durch die THC-reichen Blätter kontaminiert. In Hanföl kommt es insbesondere bei mangelhafter Reinigung vor der Ölpressung zu einer Anreicherung der lipophilen Cannabinoide. In Fällen der Richtwertüberschreitung bei Samenprodukten sollte der Hersteller auf den Stand der Technik bei Ernte und Weiterverarbeitung<sup>80)</sup>, sowie auf seine Sorgfaltspflicht hingewiesen werden.

Besonders kritisch sind zum anderen die sog. Hanftees zu betrachten. Diese werden aus den Laubblättern der Hanfpflanze hergestellt, in deren Drüsenhaaren die Cannabinoide akkumuliert vorkommen. Neben den Deckblättern der Blüten- bzw. Fruchstände werden hier die höchsten Konzentrationen angetroffen. Die Ähnlichkeit dieser Produkte zu Marihuana, das ebenfalls aus den getrockneten Pflanzenteilen der Hanfpflanze (Drogenhanf) hergestellt

wird, kann zu einer Verharmlosung von *Cannabis* als Droge führen, selbst wenn bei übermäßigem Verzehr keine psychoaktive Wirkung zu erwarten ist. Ernährungsphysiologische oder organoleptische Vorteile, die einen Verzehr dieser Produkte rechtfertigen könnten, sind ebenfalls nicht nachgewiesen.

Auf europaweit vereinheitlichte Grenzwerte für THC in Lebensmitteln als Ersatz für die begrenzt anwendbaren nationalen Richtwerte sollte hingewirkt werden.

## Literatur

- 1) Siebte Verordnung zur Änderung betäubungsmittelrechtlicher Vorschriften: BGBl I 562 (1996).
- 2) Karus, M.: Hanf – Ökorohstoff mit Zukunft? Biorohstoff Hanf – Tagungsband zum Symposium. Nova-Institut, Köln, 117–137 (1995).
- 3) Franke, W.: Nutzpflanzenkunde: nutzbare Gewächse der gemäßigten Breiten, Subtropen und Tropen. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1997).
- 4) Köhler, F. E.: Köhlers Medizinisch-Pflanzen in naturgetreuen Abbildungen und kurz erläuterndem Texte. Köhler, Gera (1883–1914).
- 5) Petri, G., P. Oroszlán und L. Fridvalszky: Histochemical detection of hemp trichomes and their correlation with the THC content. *Acta Biol. Hung.* **39**, 59–73 (1988).
- 6) Mahlberg, P. G. und E. S. Kim: THC (Tetrahydrocannabinol) accumulation in glands of *Cannabis* (Cannabinaceae). *Hemp Report* **3** (2001).
- 7) Turner, C. E., M. A. Elsohly und E. G. Boeren: Constituents of *Cannabis sativa* L. XVII. A review of the natural constituents. *J. Nat. Prod.* **43**, 169–234 (1980).
- 8) Fetterman, P. S., E. S. Keith, C. W. Waller, O. Guerrero, N. J. Doorenbos und M. W. Quimby: Mississippi-grown *Cannabis sativa* L.: preliminary observation on chemical definition of phenotype and variations in tetrahydrocannabinol content versus age, sex, and plant part. *J. Pharm. Sci.* **60**, 1246–1249 (1971).
- 9) Avico, U., R. Pacifici und P. Zuccaro: Variations of tetrahydrocannabinol content in cannabis plants to distinguish the fibre-type from drug-type plants. *Bull. Narc.* **37**, 61–65 (1985).
- 10) de Meijer, E. P. M., H. J. van der Kamp und F. A. van Eeuwijk: Characterisation of *Cannabis* accessions with regard to cannabinoid content in relation to other plant characters. *Euphytica* **62**, 187–200 (1992).
- 11) Lachenmeier, D. W., L. Kroener, F. Musshoff und B. Madea: Determination of cannabinoids in hemp food products by use of headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Anal. Bioanal. Chem.* **378**, 183–189 (2004).
- 12) Ross, S. A., Z. Mehmedic, T. P. Murphy und M. A. Elsohly: GC-MS analysis of the total  $\Delta^9$ -THC content of both drug- and fiber-type cannabis seeds. *J. Anal. Toxicol.* **24**, 715–717 (2000).
- 13) Einsatz von Hanf in Lebensmitteln kann gesundheitlich problematisch sein: BgVV Pressedienst, Berlin (1997).
- 14) Mußhoff, F., D. W. Lachenmeier und B. Madea: Cannabinoide. In Madea B., Mußhoff F. (Hrsg): *Haaranalytik: Technik und Interpretation in Medizin und Recht*. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln, 179–188 (2004).
- 15) El-Ghany, M. E. A.: Molekulargenetische Diversität einer monözischen und einer diözischen Hanfsorte und Analyse des Fasergehaltes von verschiedenen Hanfformen. Dissertation Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg (2002).
- 16) Mechtler, K., J. Bailer und K. de Hueber: Variations of  $\Delta^9$ -THC content in single plants of hemp varieties. *Ind. Crop Prod.* **19**, 19–24 (2004).
- 17) Grotenhermen, F. und M. Karus: Industrial hemp is not marijuana: comments on the drug potential of fiber *Cannabis*. *J. Intern. Hemp Assoc.* **5**, 96–101 (1998).
- 18) Taylor, B. J., J. D. Neal und T. A. Gough: The physical and chemical features of *Cannabis* plants grown in the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland from seeds of known origin – Part III: Third and fourth generation studies. *Bull. Narc.* **37**, 75–81 (1985).
- 19) Faubert, Maunder M. J.: The forensic significance of the age and origin of cannabis. *Med. Sci. Law* **16**, 78–90 (1976).
- 20) Turner, J. C., J. K. Hemphill und P. G. Mahlberg: Cannabinoid composition and gland distribution in clones of *Cannabis sativa* L. (Cannabaceae). *Bull. Narc.* **30**, 55–65 (1978).
- 21) Bazzaz, F. A., D. Dusek, D. S. Seigler und A. W. Haney: Photosynthesis and cannabinoid content of temperate and tropical populations of *Cannabis sativa*. *Biochem. Syst. Ecol.* **3**, 15–18 (1975).
- 22) Hitzemann, W.: Untersuchungen auf „Haschisch“ bei verschiedenen Hanfsorten eigenen Anbaus in Deutschland. *Arch. Pharm.* **279**, 353–387 (1941).
- 23) Sabalitschka, T.: Über *Cannabis indica*, insbesondere über eine Gewinnung hochwertiger Herba *Cannabis Indicae* durch Kultur in Deutschland. *Heil- und Gewürzpflanzen* **8**, 73–81 (1926).
- 24) Klein, H.: Erfahrungen aus den Untersuchungen von Nahrungsfetten und -ölen aus dem Handel – Teil 1. *Ernährung* **23**, 452–460 (1999).
- 25) Murari, G., S. Lombardi, A. M. Puccini und R. De Sanctis: Influence of environmental conditions on tetrahydrocannabinol ( $\Delta^9$ -THC) in different cultivars of *Cannabis sativa* L. *Fitoterapia* **54**, 195–201 (1983).
- 26) Johnson, P.: Industrial hemp: a critical review of claimed potentials for *Cannabis sativa*. *TAPPI J.* **82**, 113–123 (1999).
- 27) Mölleken, H.: Hanf (*Cannabis sativa*) als Novel Food. *Bioforum* **7–8**, 452–457 (1999).
- 28) Leizer, C., D. Ribnicky, A. Poulev, S. Dushenkov und I. Raskin: The composition of hemp seed oil and its potential as an important source of nutrition. *J. Nutraceut. Funct. Med. Foods* **2**, 35–53 (2000).
- 29) Mediavilla, V., R. Derungs, A. Känzig und A. Mäger: Qualität von Hanfsamenöl aus der Schweiz. *Agrarforschung* **4**, 449–451 (1997).
- 30) Matthäus, B., L. Brühl, U. Kriese, E. Schumann und A. Peil: Hanföl: ein „Highlight“ für die Küche. *Forschungsreport* **2/2001**, 22–25 (2001).
- 31) de Meijer, E.: Fibre hemp cultivars: a survey of origin, ancestry, availability and brief agronomic characteristics. *J. Intern. Hemp Assoc.* **2**, 66–73 (1995).
- 32) Verordnung (EG) Nr. 1420/98 zur Änderung der Verordnung (EWG) Nr. 619/71 zur Festlegung der Grundregeln für die Gewährung einer Beihilfe für Flachs und Hanf. *ABl. EU* **L190**, 7–8 (1998).
- 33) BgVV empfiehlt Richtwerte für THC (Tetrahydrocannabinol) in hanfhaltigen Lebensmitteln: BgVV Pressedienst, Berlin (2000).
- 34) Vorschlag für eine Verordnung des Rates zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1251/1999 zur Einführung einer Stützungsregelung für Erzeuger bestimmter landwirtschaftlicher Kulturpflanzen zur Einbeziehung von Faserflachs und -hanf. *ABl. EU* **C56E**, 17–18 (2000).
- 35) Grotenhermen, F.: Die Wirkungen von Cannabis und THC. *Forsch. Komplementarmed.* **6 Suppl 3**, 7–11 (1999).
- 36) Grotenhermen, F.: Pharmacokinetics and pharmacodynamics of cannabinoids. *Clin. Pharmacokinet.* **42**, 327–360 (2003).
- 37) Meier, H. und H. J. Vonesch: Cannabis-Intoxikation nach Salatgenuss. *Schweiz. Med. Wochenschr.* **127**, 214–218 (1997).
- 38) Zoller, O., P. Rhynd und B. Zimmerli: High-performance liquid chromatographic determination of  $\Delta^9$ -tetrahydrocannabinol and the corresponding acid in hemp containing foods with special regard to the fluorescence properties of  $\Delta^9$ -tetrahydrocannabinol. *J. Chromatogr. A* **872**, 101–110 (2000).
- 39) Elsohly, M. A.: Practical challenges to positive drug tests for marijuana. *Clin. Chem.* **49**, 1037–1038 (2003).
- 40) Alt, A. und G. Reinhardt: Speiseöle auf Hanfbasis und ihr Einfluss auf die Ergebnisse von Urin- und Blutanalysen. *Blutalkohol* **33**, 347–356 (1996).
- 41) Costantino, A., R. H. Schwartz und P. Kaplan: Hemp oil ingestion causes positive urine tests for  $\Delta^9$ -tetrahydrocannabinol carboxylic acid. *J. Anal. Toxicol.* **21**, 482–485 (1997).
- 42) Callaway, J. C., R. A. Weeks, L. P. Raymon, H. C. Walls und W. L. Hearn: A positive THC urinalysis from hemp (*Cannabis*) seed oil. *J. Anal. Toxicol.* **21**, 319–320 (1997).
- 43) Struempfer, R. E., G. Nelson und F. M. Urry: A positive cannabinoids

- workplace drug test following the ingestion of commercially available hemp seed oil. *J. Anal. Toxicol.* **21**, 283–285 (1997).
- 44) *Lehmann, T., F. Sager und R. Brenneisen*: Excretion of cannabinoids in urine after ingestion of cannabis seed oil. *J. Anal. Toxicol.* **21**, 373–375 (1997).
  - 45) *Alt, A. und G. Reinhardt*: Positive cannabis results in urine and blood samples after consumption of hemp food products. *J. Anal. Toxicol.* **22**, 80–81 (1998).
  - 46) *Giroud, C., M. Augsburger, L. Rivier und P. Mangin*: Hemp tea versus hemp milk: subjective effects and elimination studies of THC and its main metabolite. Proceedings XXXV TIAFT Meeting. Padova, Italien, 112–121 (1997).
  - 47) *Alt, A.*: Lebensmittel auf Hanfbasis und deren forensische Bedeutung. GTFCh-Symposium 1997. Verlag Dr. Helm, Heppenheim, 156–165 (1997).
  - 48) *Leson, G., P. Pless, F. Grotenhermen, H. Kalant und M. A. Elsohly*: Evaluating the impact of hemp food consumption on workplace drug tests. *J. Anal. Toxicol.* **25**, 691–698 (2001).
  - 49) *Iten, P. X. und M. Coray*: Hanf-Bier neu auf dem Markt in der Schweiz – THC-Gehalt und forensische Bedeutung. 75. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin. Zürich, Schweiz (1996).
  - 50) *Fortner, N., R. Fogerson, D. Lindman, T. Iversen und D. Armbruster*: Marijuana-positive urine test results from consumption of hemp seeds in food products. *J. Anal. Toxicol.* **21**, 476–481 (1997).
  - 51) *Alt, A. und G. Reinhardt*: Nahrungsmittel auf Hanfbasis und deren forensische Bedeutung. *Blutalkohol* **34**, 286–293 (1997).
  - 52) *Gibson, C. R., R. D. Williams und R. O. Browder*: Analysis of Hempen Ale for cannabinoids. *J. Anal. Toxicol.* **22**, 179 (1998).
  - 53) *Kunsmann, G. W., C. M. Kunsmann, B. Levine und M. L. Smith*: The effect of consumption of Hempen Ale on urine cannabinoid screens. *J. Anal. Toxicol.* **23**, 563–564 (1999).
  - 54) *Bosy, T. Z. und K. A. Cole*: Consumption and quantitation of  $\Delta^9$ -tetrahydrocannabinol in commercially available hemp seed oil products. *J. Anal. Toxicol.* **24**, 562–566 (2000).
  - 55) *Grotenhermen, F., G. Leson und P. Pless*: Evaluating the impact of THC in hemp foods and cosmetics on human health and workplace drug tests: an overview. *J. Ind. Hemp* **8**, 5–36 (2003).
  - 56) *Gustafson, R. A., B. Levine, P. R. Stout, K. L. Klette, M. P. George, E. T. Moolchan und M. A. Huestis*: Urinary cannabinoid detection times after controlled oral administration of  $\Delta^9$ -tetrahydrocannabinol to humans. *Clin. Chem.* **49**, 1114–1124 (2003).
  - 57) *Gustafson, R. A., I. Kim, P. R. Stout, K. L. Klette, M. P. George, E. T. Moolchan, B. Levine und M. A. Huestis*: Urinary pharmacokinetics of 11-nor-9-carboxy- $\Delta^9$ -tetrahydrocannabinol after controlled oral  $\Delta^9$ -tetrahydrocannabinol administration. *J. Anal. Toxicol.* **28**, 160–167 (2004).
  - 58) *Cirimele, V., P. Kintz, C. Jamey und B. Ludes*: Are cannabinoids detected in hair after washing with Cannabis shampoo? *J. Anal. Toxicol.* **23**, 349–351 (1999).
  - 59) *Alt, A. und G. Reinhardt*: Haarpflegemittel auf Hanfbasis und ihr Einfluss auf die Ergebnisse von Haaranalysen. *Z. Verkehrssicherheit* **43**, 74–77 (1997).
  - 60) *Alt, A., A. Bräutigam und G. Reinhardt*: Zum Nachweis von THC in Kopfharen nach Anwendung von Haarpflegemitteln auf Hanfbasis. *Z. Verkehrssicherheit* **44**, 33–35 (1998).
  - 61) *Raharjo, T. J. und R. Verpoorte*: Methods for the analysis of cannabinoids in biological materials: a review. *Phytochem. Anal.* **15**, 79–94 (2004).
  - 62) Bestimmung von Gesamt- $\Delta^9$ -Tetrahydrocannabinol (THC) in Hanföl: Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG L13.04.19-1, 1–2 (2000).
  - 63) *Boess, C., B. Palavinskas, B. Dusemund, G. Gebhardt und W. Blas*: Bestimmung von Gesamt- $\Delta^9$ -Tetrahydrocannabinol in Hanföl. *Lebensmittelchemie* **54**, 104–105 (2000).
  - 64) *Georgi, K., E. Mavric und K. Speer*: Bestimmung von  $\Delta^9$ -Tetrahydrocannabinol in hanfhaltigen Lebensmitteln. *Deut. Lebensm.-Rundsch.* **98**, 363–366 (2002).
  - 65) *Matsunaga, T., H. Nagatomo, I. Yamamoto und H. Yoshimura*: Identification and determination of cannabinoids in commercially available cannabis seeds. *Esei Kagaku* **36**, 545–547 (1990).
  - 66) *Grassi, G.*: Rapid screening tests for the detection of  $\Delta^9$ -tetrahydrocannabinol (THC) in fibre hemp. *J. Intern. Hemp Assoc.* **6**, 63–66 (1999).
  - 67) Gemeinschaftsmethode für die mengenmässige Bestimmung des  $\Delta^9$ -THC in Hanfsorten. In Verordnung (EG) Nr. 2316/1999 mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) Nr. 1251/1999 zur Einführung einer Stützungsregelung für Erzeuger bestimmter landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. *ABl. EU* **L280**, 43–65 (1999).
  - 68) *Kanter, S. L., M. R. Musumeci und L. E. Hollister*: Quantitative determination of  $\Delta^9$ -tetrahydrocannabinol and  $\Delta^9$ -tetrahydrocannabinolic acid in marijuana by high-pressure liquid chromatography. *J. Chromatogr.* **171**, 504–508 (1979).
  - 69) *Veress, T., J. I. Szanto und L. Leisztner*: Determination of cannabinoid acids by high-performance liquid chromatography of their neutral derivatives formed by thermal decarboxylation I. Study of the decarboxylation process in open reactors. *J. Chromatogr.* **520**, 339–347 (1990).
  - 70) *Rustichelli, C., V. Ferioli, M. Baraldi, P. Zanolini und G. Gamberini*: Analysis of cannabinoids in fiber hemp plant varieties (*Cannabis sativa* L.) by high-performance liquid chromatography. *Chromatographia* **47**, 215–222 (1998).
  - 71) *Brenneisen, R.*: Psychotrope Drogen II. Bestimmung der Cannabinoide in *Cannabis sativa* L. und in Cannabisprodukten mittels Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC). *Pharm. Acta Helv.* **59**, 247–259 (1984).
  - 72) *Lehmann, T. und R. Brenneisen*: High performance liquid chromatographic profiling of cannabis products. *J. Liq. Chromatogr.* **18**, 689–700 (1995).
  - 73) *Musshoff, F., H. P. Junker, D. W. Lachenmeier, L. Kroener und B. Madea*: Fully automated determination of cannabinoids in hair samples using headspace solid-phase microextraction and gas chromatography – mass spectrometry. *J. Anal. Toxicol.* **26**, 554–560 (2002).
  - 74) *Musshoff, F., D. W. Lachenmeier, L. Kroener und B. Madea*: Automated headspace solid-phase dynamic extraction for the determination of cannabinoids in hair samples. *Forensic Sci. Int.* **133**, 32–38 (2003).
  - 75) *Lachenmeier, D. W.*: Neue Methodenkombination aus dynamischer Festphasenextraktion, Gaschromatographie und Massenspektrometrie für den Einsatz in der forensisch-toxikologischen Haaranalytik. Dissertation Universität Bonn (2003).
  - 76) *Hupf, H., H. Gerstenberg und K. Zeitler*: „Nutzhanf-Drinks“. Zur Frage nach der Lebensmitteleigenschaft (Genusswert) und der rechtlichen Zuordnung von Nutzhanf. *Brauwelt* **137**, 2119–2123 (1997).
  - 77) *Taschan, H.*: Hanfhaltige Lebensmittel: Psychedelische Lebensmittel, neuartige Lebensmittel oder Rauschmittel? *Verbraucherdienst* **44**, 144–148 (1999).
  - 78) *Eul, H. K.*: Vom Pils über das Bilsenkraut- und Liebesbier bis zum Reinheitsgebot. *Brauwelt* **137**, 2323–2325 (1997).
  - 79) Verordnung (EWG) Nr. 315/93 zur Festlegung von gemeinschaftlichen Verfahren zur Kontrolle von Kontaminanten in Lebensmitteln. *ABl. EU* **L37**, 1–3 (1993).
  - 80) *Münzing, K., H. Zwingelberg und C. Weßler*: Untersuchungen zur Aufarbeitung von Speisehanfsamen. *Getreide Mehl Brot* **53**, 180–186 (1999).