

# UNTERRICHTS MATERIALIEN

## Chemie

### **Isotope in der Medizin**

Kernchemie – Betrachtung der wichtigsten medizinischen Radionuklide

### **E-Zigaretten – Ester für den Geschmack**

Beurteilung des Potenzials von E-Zigaretten als Alternative

### **Keine Angst vor der Mathematik in der Chemie (Teil I)**

Eine Einführung in die energetische Betrachtung chemischer Reaktionen

### **Erdöl – endliche Energiequelle? Was tun?**

Aufgaben rund um den wertvollen Rohstoff

### **Keine Angst vor der Mathematik in der Chemie (Teil II)**

Eine Vorbereitung auf die Abiturprüfung

### **Abwasser – Rohstoff oder Abfall?**

Bedeutung von Wasser und Funktion der Abwasserreinigung

### **Hyaluronsäure – die Lösung im Anti-Aging-Kampf**

Die Vielseitigkeit des Polysaccharids entdecken

# E-Zigaretten – Ester für den Geschmack

<b>Methodisch-didaktische Hinweise</b> .....	<b>1</b>
<b>Material</b> .....	<b>3</b>
<b>M1:</b> So funktioniert eine E-Zigarette .....	3
<b>M2:</b> Woher kommt der Geschmack? .....	4
<b>M3:</b> Können Liquids reifen? .....	7
<b>M4:</b> Wie schädlich sind E-Zigaretten? .....	10
<b>Lösungsvorschläge</b> .....	<b>12</b>
<b>M1:</b> So funktioniert eine E-Zigarette .....	12
<b>M2:</b> Woher kommt der Geschmack? .....	12
<b>M3:</b> Können Liquids reifen? .....	14
<b>M4:</b> Wie schädlich sind E-Zigaretten? .....	16
<b>Literatur</b> .....	<b>17</b>
<b>Bildnachweis</b> .....	<b>17</b>

### M 1 So funktioniert eine E-Zigarette

**Kirsche, Ananas & Co – Raucher können mit E-Zigaretten ihre Sucht durch verschiedenartige Fruchtaromen versüßen. Welche Rolle spielen Ester-Verbindungen für den Geschmack?**

In einer elektrischen Zigarette (kurz E-Zigarette) wird eine Flüssigkeit, das sogenannte Liquid, verdampft. Dieses Liquid befindet sich in einem Tank und enthält neben Trägersubstanzen wie Glycerin insbesondere Nicotin. Wahlweise kann man das Liquid mit zahlreichen Geschmacksstoffen anreichern. In der Regel liefert ein Lithium-Ionen-Akku die für die Verdampfung benötigte elektrische Energie. Eine kleine Heizspirale erhitzt das Liquid, welches durch einen Verdampfer so vernebelt wird, dass der Verbraucher einen warmen Dampfstrom konsumieren kann. Dieser Prozess kann entweder durch einen Schalter oder durch das Ziehen an der Zigarette selbst gestartet werden. Im zweiten Fall wird der Akku durch das Erzeugen eines Unterdrucks aktiviert. Im Gegensatz zu einer herkömmlichen Zigarette findet kein Verbrennungsprozess statt. An einigen E-Zigaretten befindet sich vorn an der Spitze eine kleine Leuchtdiode. Diese soll das beim klassischen Rauchen typische Glimmen der Zigarette simulieren.

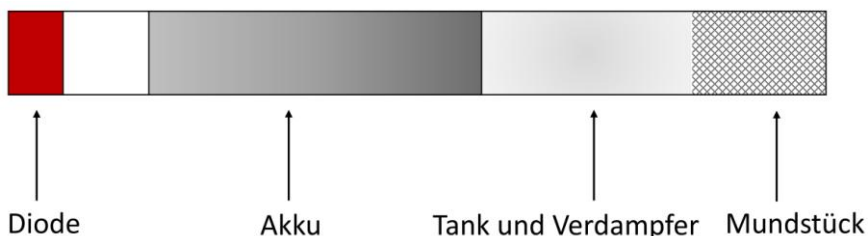


Abb.: Der allgemeine Aufbau einer E-Zigarette

### Aufgaben

- 1 Bei der klassischen Zigarette wird ein Großteil des Nicotins ( $C_{10}H_{14}N_2$ ) verbrannt und nur ein Bruchteil wird über die Lunge aufgenommen. Formulieren Sie eine Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Nicotin.
- 2 Begründen Sie mithilfe des Struktur-Eigenschafts-Basiskonzepts die Abhängigkeit der Verdampfungstemperatur von der Molekülgröße.

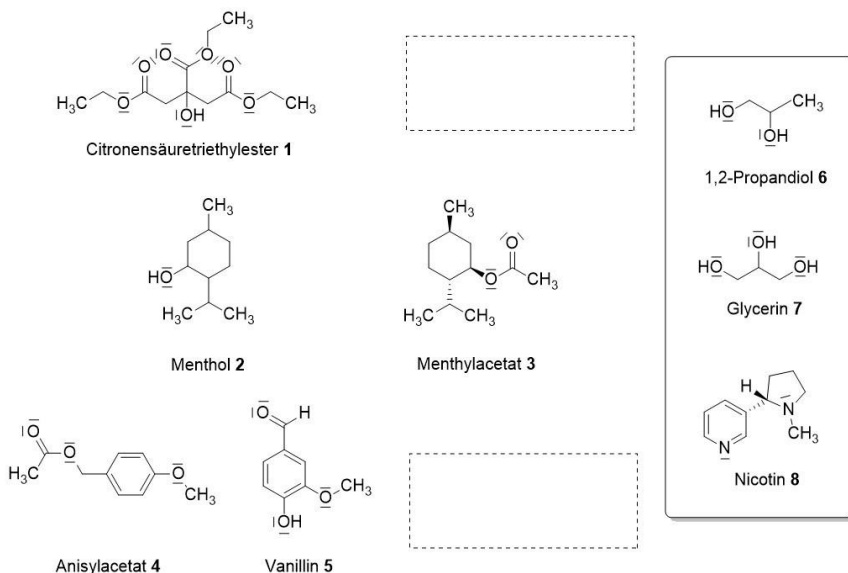


Abb.: Inhaltsstoffe der Litesmo® Geschmacksrichtungen  
(Cherry (**1**), Mint (**2,3**), Vanillin (**4,5**))

Viele Geschmacksrichtungen sind maßgeblich auf Ester zurückzuführen. Die meisten verwendeten Aromastoffe werden seit Jahrzehnten in zahlreichen anderen Lebensmitteln zur Beeinflussung des Geschmacks eingesetzt. 1,2-Propanediol (**6**) und Glycerin (**7**) werden als sogenannte Trägermoleküle in den Liquids verwendet und sorgen für die Löslichkeit und die optimale Vernebelung des Nicotins (**8**) und der Aromastoffe.

## Aufgaben

- Teilen Sie die typischen Bestandteile eines Liquids begründet in verschiedene Stoffklassen ein und nennen Sie je zwei Beispiele für jede Stoffklasse.
- Markieren Sie in den in der Abbildung gezeigten Strukturen die funktionelle Gruppe der Ester.

## Isotope in der Medizin

### Text 1 **Doktors strahlende Helfer: die wichtigsten medizinischen Radionuklide**



**Technetium-99** ist das am häufigsten verwendete medizinische Radionuklid. In mehr als 80 % aller Anwendungen kommt es zum Einsatz. 90 % davon dienen der Diagnose. Meist sind es sogenannte Szintigramme, Bilder von Knochen, Nieren oder Herz, die häufig in einem Einzelphotonen-Emissions-Computertomografen (SPECT) aufgenommen werden. Gewonnen wird Technetium-99 ausschließlich in Kernreaktoren, die sein Mutternuklid Molybdän-99 durch Kernspaltung von Uran-235 erzeugen. Das Molybdän-99 zerfällt dann zu Technetium-99.

**Fluor-18** ist das häufigste Nuklid für eine mit SPECT konkurrierende bildgebende Technik, die sogenannte Positronen-Emissions-Tomografie (PET). Diese wesentlich genauere Methode etabliert sich nur langsam, da die Kassen sie nicht bezahlen. Fluor-18 kommt nicht aus Reaktoren, sondern aus kleinen Kreisteilchenbeschleunigern, sogenannten Zyklotronen, die in den Kellern größerer Kliniken stehen. Die Wege zum Patienten müssen möglichst kurz sein: Schon nach zwei Stunden ist die Hälfte des Fluor-18 zerstrahlt.



Protonenzyklotron an der University of Washington

**Kohlenstoff-11** ist eines der kurzlebigsten medizinischen Nuklide: Seine Halbwertszeit beträgt nur 20 Minuten. Auch dieses Nuklid wird in der Klinik im Zyklotron produziert – durch Bestrahlung von Stickstoff mit Wasserstoffkernen. Noch kürzer lebt Sauerstoff-15, das wie Kohlenstoff-11 und Fluor-18 beim Zerfall ausschließlich Positronen aussendet und daher für PET-Aufnahmen genutzt wird. Sauerstoff-15 hat eine Halbwertszeit von gerade mal zwei Minuten.

**Iod-131** ist das am häufigsten verwendete Isotop in der Therapie, vor allem bei Schilddrüsenerkrankungen. Im Körper speichern es nur die Zellen der Schilddrüse, wo es sich sammelt und zu Xenon zerfällt. Dabei stößt es Elektronen aus, die bösartige Zellen in nächster Nähe abtöten. Iod-131 entsteht als Nebenprodukt der Kernspaltung bei der Produktion von Molybdän-99 im Reaktor.

**Yttrium-90** wird als zweithäufigstes Nuklid vorwiegend zur Therapie von chronischen Gelenkentzündungen eingesetzt. Hergestellt wird es im Reaktor, aber nicht durch Spaltung eines größeren Atomkerns, sondern durch Aktivierung eines kleineren: Natürliches, stabiles Yttrium-89 nimmt ein Neutron aus dem Reaktor auf und wird so zum radioaktiven Yttrium-90.

*Zeitungsartikel: Björn Schwentker, Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung, 05.04.2009*

## Text 2 Nuklearmedizin: Rückschlag für die Diagnostik



*„Das seltene radioaktive Isotop Technetium-99 ermöglicht jährlich Millionen hochgenaue nuklearmedizinische Untersuchungen. Aber die Reaktoren, die es produzieren, werden nach und nach abgeschaltet. Experten schlagen Alarm. ...“*

*(Zitat: M. Peplow, Spektrum der Wissenschaft, 2017 (7.17))*

Mithilfe der radioaktiven Technetium-99-Atome kann man in das Innere eines Organismus blicken. Das Verfahren Einzelphotonen-Emissions-Computertomografie (SPECT) ermöglicht zum Beispiel die Erkennung von Krebserkrankungen, die Analyse der Pumpfunktion von Herzen oder auch die Analyse von Gehirnen nach einem Schlaganfall. Sie ist ein sehr genaues Verfahren, bei dem die Strahlenbelastung des Patienten sehr gering gehalten werden kann.

Für die Herstellung von Technetium-99 benötigt man Molybdän-99 (siehe Text 1). Weltweit fällt dieses Molybdänisotop jedoch nur in sechs Forschungsreaktoren an. Voraussichtlich werden diese Reaktoren, zumindest teilweise, in den nächsten Jahren stillgelegt, da sie 50 Jahre und älter sind. Neue Anlagen sind geplant, aber bis zur Inbetriebnahme kann es länger als zehn Jahre dauern.

Bei einem alternativen Verfahren werden Protonen auf Molybdän-100-Atome geschossen. Dabei entsteht direkt das benötigte Technetium-99. Allerdings benötigt man dazu einen kleinen Kreisteilchenbeschleuniger, ein sogenanntes Zyklotron, im oder in der Nähe des Krankenhauses.

Das für die medizinische Diagnostik verwendete Technetium-99 wird von Experten als  $^{99m}\text{Tc}$  bezeichnet. Es handelt sich dabei um das angeregte, metastabile Technetium-99-Isotop mit einer Halbwertszeit von 6 Stunden. Es sendet Gammastrahlung niedriger Ionisationsdichte aus, die für die beschriebenen medizinischen Anwendungen geeignet ist.

### **Aufgabe**

- 1 In den obigen Infotexten über Radionuklide in der Medizin wird folgende Schreibweise verwendet: Technetium-99 (Elementsymbol Technetium: Tc). Damit ist das Technetium-Isotop mit der Atommasse 99 u gemeint. Geben Sie zu jedem der in den Texten beschriebenen Isotope die vollständige Schreibweise mit Massen- und Ordnungszahl sowie die Anzahl der Protonen, Neutronen und Elektronen an und informieren Sie sich über die Halbwertszeiten der jeweiligen Isotope.
- 2 Welche Anwendungen haben die jeweiligen Isotope in der Medizin?
- 3 Warum müssen zum Beispiel die Technetium-99-Atome in der Nähe von Krankenhäusern hergestellt werden?

### **Expertenaufgabe**

Welche Kernreaktion liegt der Gewinnung von Technetium-99 aus Molybdän-99 zugrunde? Formulieren Sie die dazugehörige Kerngleichung.

**Kompetenzprofil**

- Niveau: grundlegend
- Fachlicher Bezug: Kernchemie
- Methode: Übungsaufgabe
- Basiskonzepte: Stoff-Teilchen-Konzept
- Erkenntnismethode: Modelle anwenden
- Kommunikation: Informationsquellen nutzen
- Inhalt in Stichworten: Radionuklide in der Medizin

**Autor:** Dr. Dietmar Abt

**Lösungsvorschläge**

1

	$^{99}_{43}\text{Tc}$	$^{99}_{42}\text{Mo}$	$^{100}_{42}\text{Mo}$	$^{235}_{92}\text{U}$	$^{18}_9\text{F}$
Protonen	43	42	42	92	9
Neutronen	56	57	58	143	9
Elektronen	43	42	42	92	9
Halbwertszeit	6 h *	66 h	6 h	$700 \cdot 10^6$ a	2 h

- *Hinweis:* Betrachtet wird hierbei das angeregte (metastabile) Nuklid  $^{99\text{m}}_{43}\text{Tc}$ , das in der medizinischen Diagnostik Verwendung findet.

	$^{11}_6\text{C}$	$^{15}_8\text{O}$	$^{131}_{53}\text{I}$	$^{90}_{39}\text{Y}$	$^{89}_{39}\text{Y}$
Protonen	6	8	53	39	39
Neutronen	5	7	78	51	50
Elektronen	6	8	53	39	39
Halbwertszeit	20 min	122 s	8 d	64 h	stabil