

**Schriftliche Prüfung 2. Vordiplom  
Herbst 2002****D – ANBI/BIOL****Musterlösung**

---

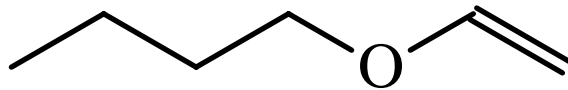
Vorname:..... Name:.....

---

- ◆ Jede Aufgabe wird separat bewertet. Die maximal erreichbare Punktzahl beträgt **36**. Die Maximalnote wird mit mindestens **30** Punkten erreicht.
- ◆ Zeit: **60 Minuten**. Teilen Sie sich Ihre Zeit gut ein!
- ◆ Unleserliche Texte, unklare Formulierungen oder unsaubere Skizzen können nicht bewertet werden. Bitte bemühen Sie sich um eine saubere Darstellung.
- ◆ Beginnen Sie jede Aufgabe auf einem neuen Blatt und schreiben Sie jedes abzugebende Blatt einzeln mit Ihrem Namen an.
- ◆ Dieses Deckblatt ist ausgefüllt abzugeben. Die Aufgabenstellung ist ebenfalls einzureichen.
- ◆ Wir bitten Sie um Fairness und wünschen Ihnen viel Erfolg!

## Aufgabe 1 8 Punkte

Auf den folgenden Seiten finden Sie die IR-, Massen-,  $^1\text{H}$ -NMR- und  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektren der Verbindung Y13 mit der Summenformel  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$  und einer relativen Molmasse  $M_r = 100$ . Sie weist folgende Konstitution auf:



# Y13

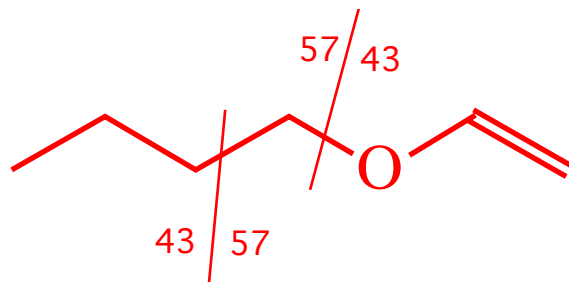
- a) Betrachten Sie die seltsam asymmetrische Bande im IR-Spektrum bei  $1180\text{ cm}^{-1}$  und einer Transmission von 40% (bezeichnet mit einem **x**). Nennen Sie mindestens zwei Gründe, warum Sie diese Bande nicht ohne Weiteres interpretieren können. (2 Punkte)

Es handelt sich nicht wirklich um eine Bande. Links, zu höheren Wellenzahlen, schliesst sich ein Sperrgebiet an, erkennbar durch die perfekt horizontale Linie. In diesem Bereich absorbiert das Lösungsmittel Chloroform praktisch die ganze Strahlung. Der Detektor hat also keine Möglichkeit, die zusätzliche Absorption durch die Probe zu ermitteln. Man hat keinerlei Information über das Absorptionsverhalten der Probe im Bereich eines Sperrgebiets. Rechts des Sperrgebiets ist die Flanke einer Bande zu sehen, die sich offensichtlich ins Sperrgebiet hinein erstreckt. Die maximal sichtbare Absorption stellt aber nicht das wirkliche Absorptionsmaximum dar.

Banden im Fingerprint-Bereich (unterhalb  $1500\text{ cm}^{-1}$ ) können nicht ohne Weiteres interpretiert werden. Die zugehörigen relativ langsamen Eigenschwingungen sind für dieses eine Molekül charakteristisch, weil viele Atome sich nennenswert bewegen. Dies im Gegensatz zu den Banden bei grösseren Wellenzahlen, die zu Schwingungen gehören, bei denen sich nur wenige Atome einer funktionellen Gruppe bewegen. Daher sind diese Banden für die funktionellen Gruppen charakteristisch, weitgehend unabhängig vom Rest des Moleküls. Banden im Fingerprint-Bereich lassen sich nur in seltenen Fällen interpretieren.

- b) Das Signal  $m/z = 57$  im Massenspektrum ist eines der intensivsten. Welche zwei Möglichkeiten gibt es, dieses Fragment durch die direkte Spaltung einer Bindung zu erzeugen? Welche Spaltung erscheint Ihnen als die wahrscheinlichere? Begründen Sie Ihre Ansicht mit den Ihnen bekannten Zerfallsregeln. (3 Punkte)

Die beiden Möglichkeiten sind unten dargestellt.



Die Fragmentierung wird durch das Sauerstoffatom gesteuert. Gemäss Regel IV bricht nicht die Bindung unmittelbar zum Heteroatom, sondern eine daneben liegende. Das zu erwartende Fragment mit der Masse 57 enthält den Sauerstoff (Spaltung links).

- c) Ordnen Sie im  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum sämtliche Signalgruppen den entsprechenden Protonen in der Konstitution zu. Ein Proton ist bereits zugeordnet. Begründen Sie jede Ihrer Zuordnungen mit mindestens einem spektroskopischen Argument. (3 Punkte)

Im  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum sind die Zuordnungen eingetragen. Die Zahlen im Übersichtsspektrum bezeichnen die Integrale.

Die Methylgruppe korrespondiert mit dem einzigen Signal mit Integral 3. Es spaltet in ein Triplett auf, da die Methylgruppe 2 Nachbarn hat.

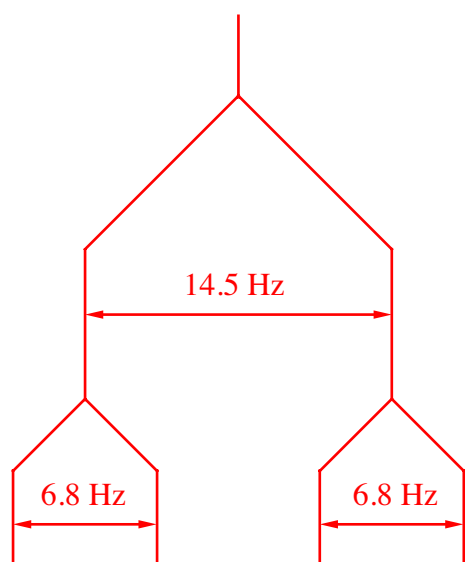
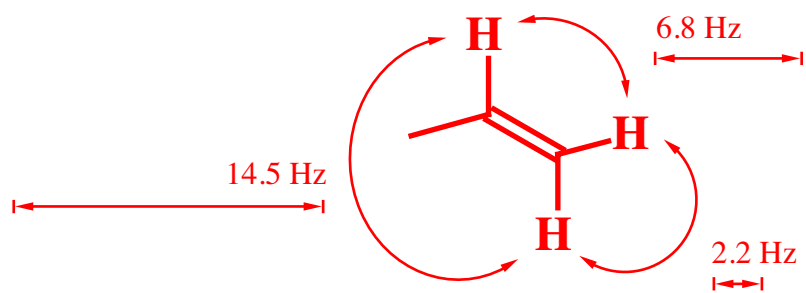
Das Signal der daneben liegenden  $\text{CH}_2$ -Gruppe spaltet in ein Sextett auf, da die  $\text{CH}_2$ -Gruppe 5 Nachbarn hat.

Das Signal der daneben liegenden  $\text{CH}_2$ -Gruppe spaltet in ein Quintett auf, da die  $\text{CH}_2$ -Gruppe 4 Nachbarn hat.

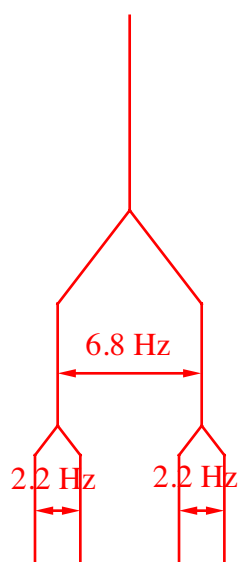
Das Signal der neben dem O-Atom liegenden  $\text{CH}_2$ -Gruppe spaltet in ein Triplett auf, da die  $\text{CH}_2$ -Gruppe 2 Nachbarn hat.

Die neben dem O-Atom liegende  $\text{CH}_2$ -Gruppe hat von allen aliphatischen Protonen die grösste chemische Verschiebung, verursacht durch die Nachbarschaft des elektronegativen O-Atoms.

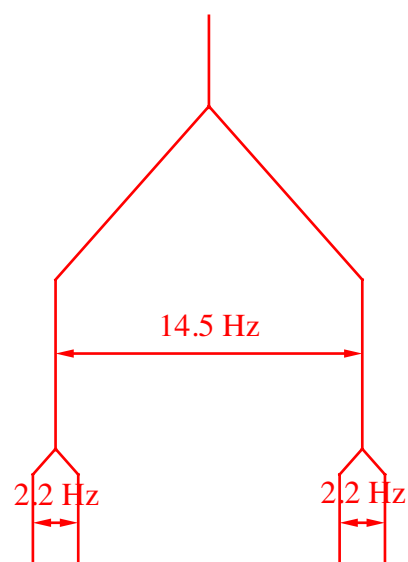
Die Signalaufspaltungen im Bereich der  $\text{C}=\text{C}$ -Doppelbindung sind komplizierter, da die Kopplungskonstanten individuell sind. Es resultieren drei Signalgruppen mit je vier Linien mit dem Intensitätsverhältnis 1:1:1:1.



$6.5 \text{ ppm}$

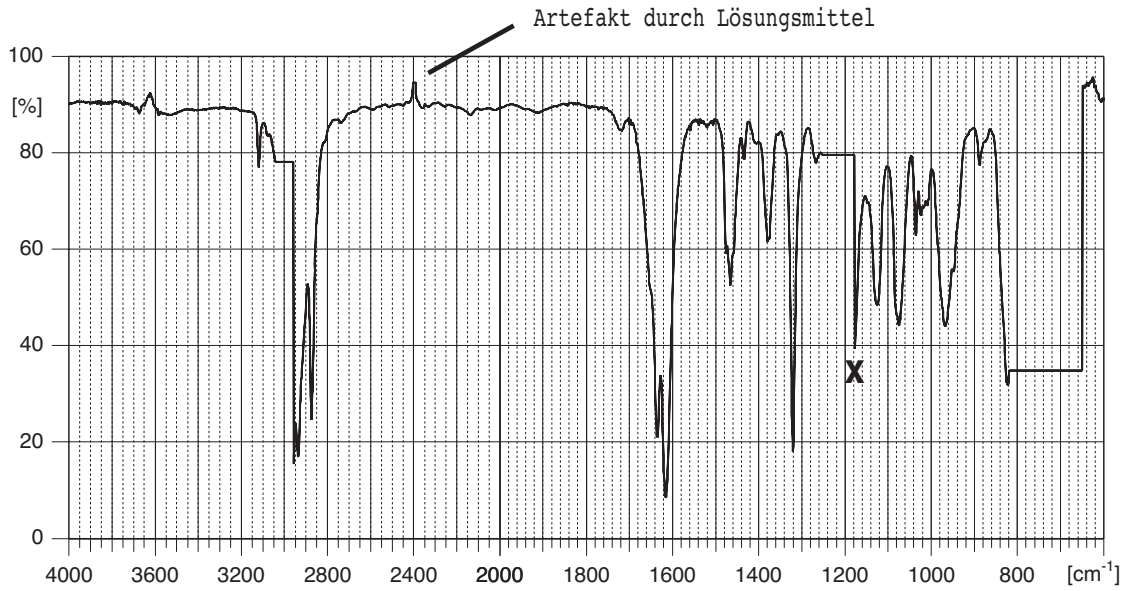


$4.0 \text{ ppm}$

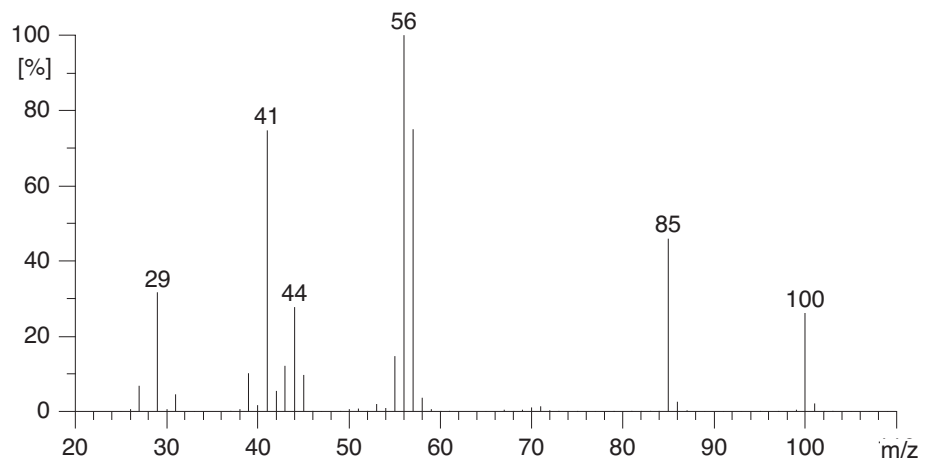


$4.2 \text{ ppm}$

**IR:** Perkin-Elmer Modell FT-IR 1600  
aufgenommen in  $\text{CHCl}_3$

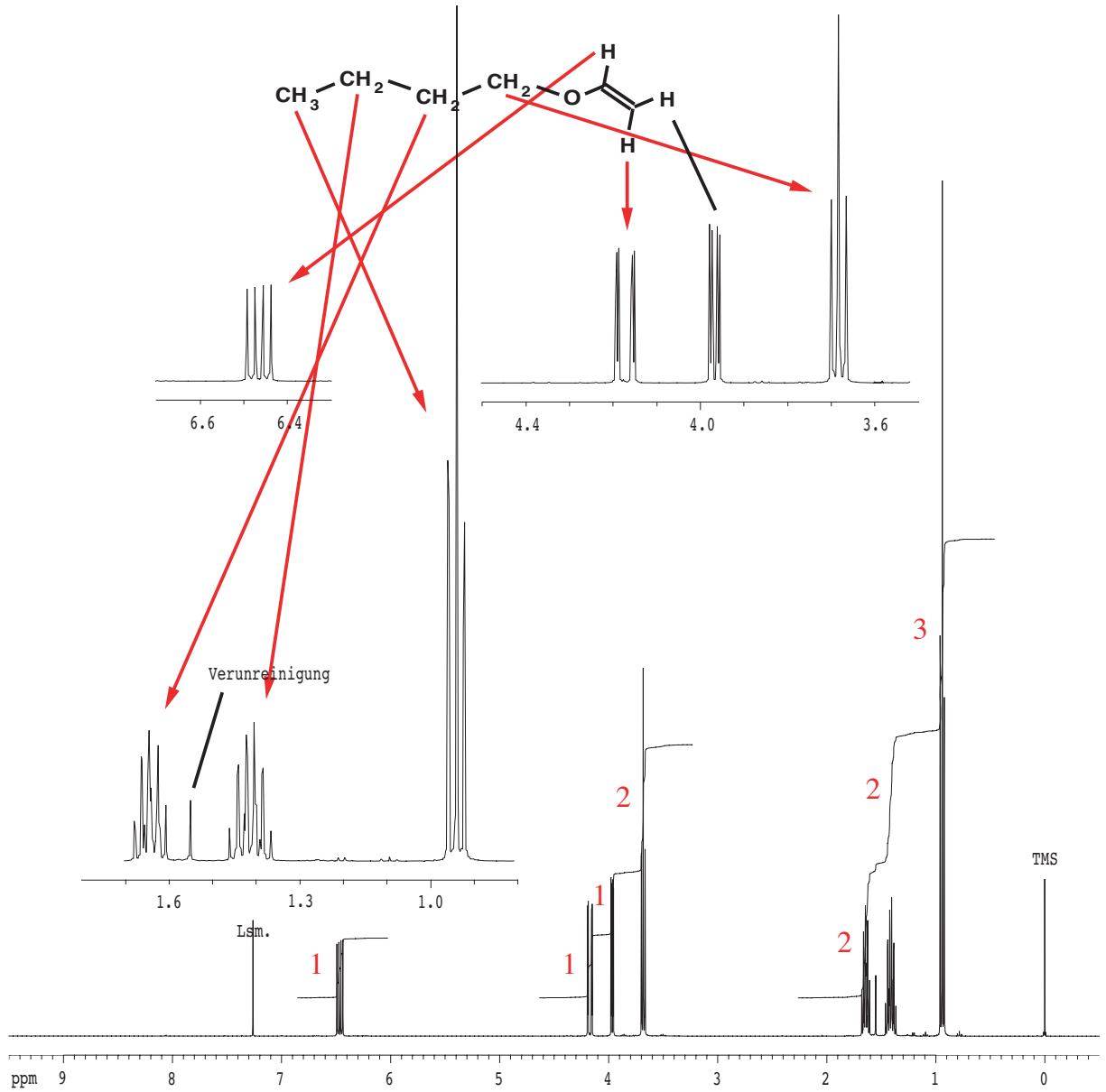


**MS:** EI, 70 eV



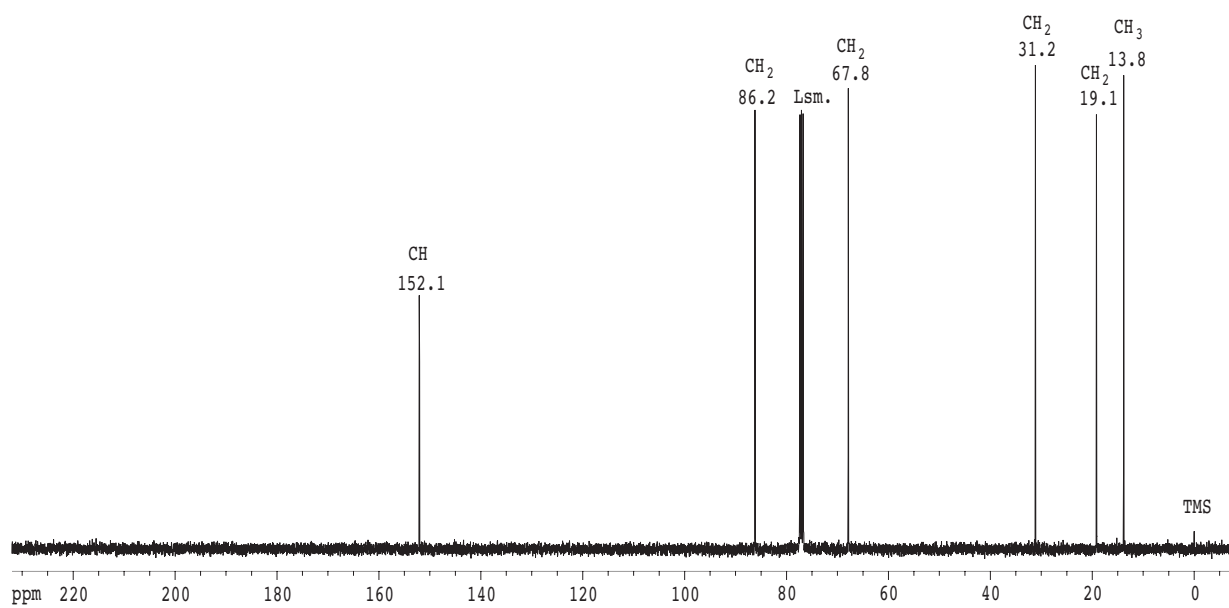
$^1\text{H-NMR}$ : 400 MHz, aufgenommen in  $\text{CDCl}_3$ 

Y13



## Y13

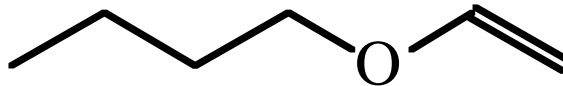
$^{13}\text{C-NMR}$ : 400 MHz, breitbandenkoppelt, aufgenommen in  $\text{CDCl}_3$



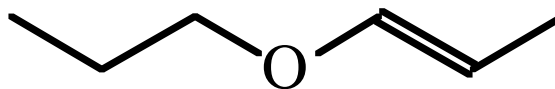
## Aufgabe 2 8 Punkte

Für die Verbindung Y13 werden die alternativen Konstitutionen 1-4 vorgeschlagen. Finden Sie für jede Alternative mindestens zwei spektroskopische Argumente, die gegen sie sprechen. (maximal 2 Punkte pro Alternative)

### Y13



### ①



Im  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektrum müssten 2  $\text{CH}_3$ -Gruppen sichtbar sein (statt 1).

Im  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektrum müssten 2  $\text{CH}_2$ -Gruppen sichtbar sein (statt 4).

Im  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektrum müssten 2 CH-Gruppen sichtbar sein (statt 1).

Es gibt keine  $\text{CH}_2$ -Gruppe mit 4 Nachbarn, also kann im  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum kein Signal mit 5 Linien auftreten.

Es müsste im  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum ein Dublett mit Integral 3 erkennbar sein (die  $\text{CH}_3$ -Gruppe rechts).

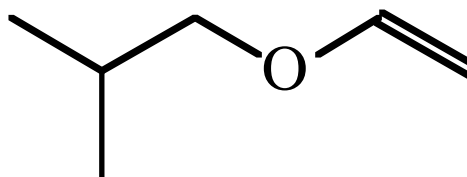
Die CH-Gruppe der Doppelbindung neben dem O-Atom hat nur einen Nachbarn. Das entsprechende Signal im  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum müsste als Dublett erscheinen.

Die andere CH-Gruppe der Doppelbindung hat 1 Nachbarn in trans-Stellung an der Doppelbindung und (mit unterschiedlicher Kopplungskonstante) 3 Nachbarn wegen der  $\text{CH}_3$ -Gruppe. Man erwartet ein Dublett von Quartetten, also 8 Linien.

Es ist nicht zu verstehen, wie 3 Signale mit dem Integral 1 entstehen sollten. Man würde 2 solche erwarten (die Signale der beiden CH-Gruppen).

Der Basispeak im Massenspektrum kann zwar durch eine direkte Fragmentierung erklärt werden (durch die Spaltung der Bindung links vom O-Atom). Es handelt sich aber gemäss Regel IV nicht um eine bevorzugte Spaltung (2 Punkte, falls die Regel erwähnt wurde). Zudem legt die Regel V nahe, dass die Ladung auf der C-Seite lokalisiert würde. Man sähe also eher 43 als 57 (gibt nochmals 2 Punkte).

### ②



Im  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektrum müssten 2  $\text{CH}_2$ -Gruppen sichtbar sein (statt 4).



Im  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektrum müssten 2 CH-Gruppen sichtbar sein (statt 1).

Die  $\text{CH}_2$ -Gruppe im aliphatischen Bereich hat 1 Nachbarn. Also müsste im  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum ein Dublett mit Integral 2 auftreten.

Die CH-Gruppe im aliphatischen Bereich hat 8 Nachbarn. Also müsste im  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum ein 9-Linien-System mit Integral 1 auftreten.

Die beiden  $\text{CH}_3$ -Gruppen haben aus Symmetriegründen die gleiche chemische Verschiebung. Es müsste im  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum ein Dublett mit Integral 6 erscheinen.

③



Im  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektrum dürfte keine  $\text{CH}_3$ -Gruppe sichtbar sein (statt 1).

Im  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektrum müssten 5  $\text{CH}_2$ -Gruppen sichtbar sein (statt 4).

Die CH-Gruppe hätte 1 Nachbarn in trans-Stellung an der Doppelbindung, 1 Nachbarn in cis-Stellung (mit anderer Kopplungskonstanten) und 2 Nachbarn wegen der  $\text{CH}_2$ -Gruppe (mit nochmals anderer Kopplungskonstanten). Im  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum müsste also ein Dublett von Dubletten von Triplett erscheinen (also 12 Linien).

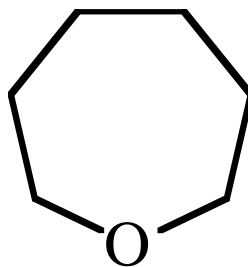
Die  $\text{CH}_2$ -Gruppe neben der Doppelbindung hat 3 Nachbarn. Es müsste also im  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum ein Signal mit Integral 2 erkennbar sein, das in 4 Linien aufspaltet.

Es gibt zwei  $\text{CH}_2$ -Gruppen mit jeweils 4 Nachbarn. Es müssten im  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum demnach zwei Signale mit 5 Linien erkennbar sein.

Der Basispeak im Massenspektrum ist nicht durch eine direkte Fragmentierung zu erklären.

Im IR-Spektrum müsste die Bande der O–H-Streckschwingung (bei etwa  $3600\text{ cm}^{-1}$ ) erscheinen.

④



Im  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektrum dürfte keine  $\text{CH}_3$ -Gruppe sichtbar sein (statt 1).

Im  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektrum müssten aus Symmetriegründen 3  $\text{CH}_2$ -Gruppen sichtbar sein (statt 4).

Im  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektrum dürfte keine CH-Gruppe sichtbar sein (statt 1).

Allgemeiner Hinweis zum  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum:

Da es sich bei diesem Molekül um eine Ringstruktur handelt, ist die Drehung um Einfachbindungen nicht unbeschränkt möglich. Protonen oberhalb der Ringebene können also nicht durch Drehung um Einfachbindungen unter die Ringebene gebracht werden. Daher ergibt sich ein sehr komplexes  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum, da die Kopplungskonstanten zu Protonen oberhalb und unterhalb der Ringebene nicht gleich sind. Zudem sind die beiden  $\text{CH}_2$ -Gruppen, die am weitesten vom O-Atom entfernt sind, isochron aber nicht magnetisch äquivalent. Diese Fälle wurden in der Vorlesung nicht behandelt. Daher wurden auch folgende Einwände als richtig anerkannt (sie sind aber eigentlich falsch):

Es müsste im  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum ein Triplet mit Integral 4 auftreten, verursacht durch die beiden  $\text{CH}_2$ -Gruppen neben dem O-Atom.

Es müsste im  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum ein Quintett mit Integral 4 auftreten, verursacht durch die beiden  $\text{CH}_2$ -Gruppen am weitesten entfernt vom O-Atom.

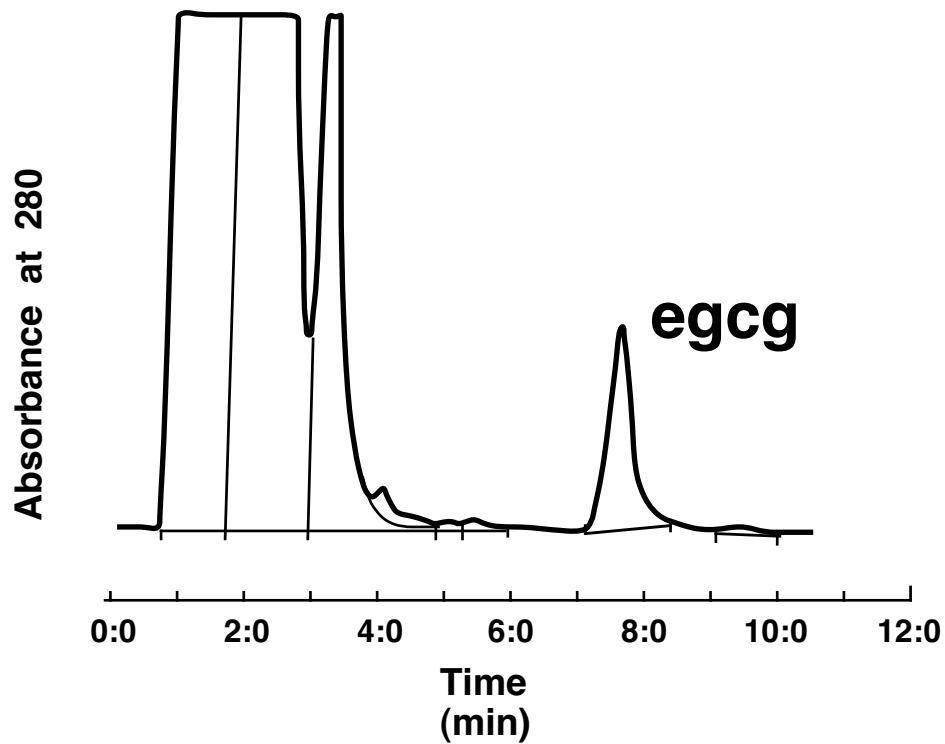
Es müsste im  $^1\text{H}$ -NMR-Spektrum ein weiteres Quintett mit Integral 4 auftreten, verursacht durch die beiden restlichen  $\text{CH}_2$ -Gruppen.

(Massenspektrum: Die Regeln für die bevorzugte Spaltung von Bindungen führen im Fall einer Ringstruktur nicht zu einer eigentlichen Fragmentierung, sondern nur zu einer Ringöffnung. Da die Regeln nur ein einziges Mal angewendet werden dürfen, ist der Mechanismus der Fragmentierung nicht nachvollziehbar. Kein Argument aus dem Bereich der Massenspektrometrie wurde akzeptiert.)

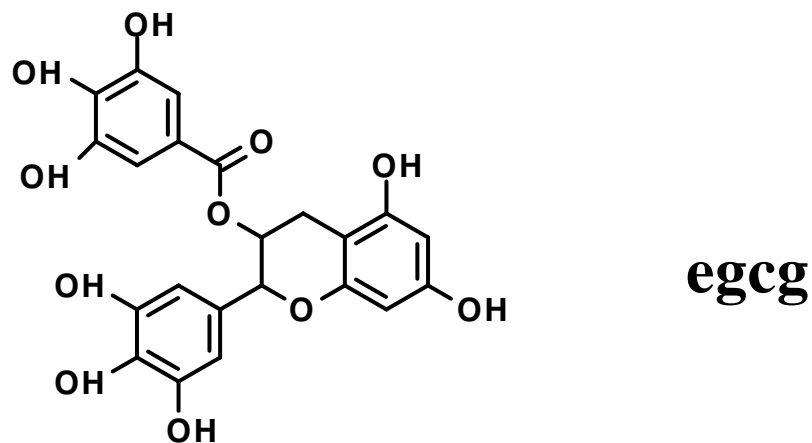
Im IR-Spektrum würde die Bande bei ca.  $1600\text{ cm}^{-1}$ , die zur  $\text{C}=\text{C}$ -Streckschwingung gehört, nicht erscheinen.

### Aufgabe 3 8 Punkte

In der Literatur haben Sie folgendes Chromatogramm gefunden (Cancer Chemother. Pharmacol. (1999) 43, 331-335):



Die dünnen Hilfslinien wurden von der Auswertungs-Software nachträglich eingefügt. Ein Peak ist mit "egcg" beschriftet. Dabei handelt es sich um Epigallocatechingallat mit der folgenden Konstitution:



- a) Um welche chromatographische Methode handelt es sich? Was bedeutet "Absorbance at 280"? (1.5 Punkte)

Das egcg mit seinen vielen polaren OH-Gruppen und seiner beträchtlichen Grösse lässt sich nicht durch Verdampfen in die Gasphase bringen. Es kann sich also nicht um eine gaschromatographische Methode handeln. Es kommt nur eine Chromatographie in der flüssigen Phase in Frage. "Absorbance at 280" ist eine unsaubere Bezeichnung für Leute, die ohnehin wissen, was gemeint ist. "Absorbance at 280 nm" wäre eine richtige Beschriftung. Es wurde also die Absorption bei einer Wellenlänge von 280 nm durch einen UV-Detektor gemessen.

- b) Schätzen Sie die Anzahl theoretischer Trennstufen anhand des Peaks ab, der mit "egcg" bezeichnet ist. Eigentlich fehlt Ihnen eine Angabe. Welche? Wie schätzen Sie sie ab? (1.5 Punkte)

Die Formel zur Berechnung der Bodenzahl  $N$  lautet:

$$N = 16 \left( \frac{t_R}{w} \right)^2$$

wobei  $t_R$  die Retentionszeit und  $w$  die Basisbreite bedeuten. Beide Grössen haben die Dimension einer Zeit. Siehe Skript S. 12. Zur Abschätzung der Basisbreite siehe Skript S. 11. Die Retentionszeit beträgt ca. 7.7 min, die Basisbreite ca. 0.7 min. Es ergibt sich eine Bodenzahl von knapp 2000. Es wurden alle numerischen Resultate als richtig angesehen, wenn die Berechnung im Detail nachvollziehbar war.

- c) Spekulieren Sie, wie sich das Chromatogramm verändern könnte, wenn Sie den Detektor so verstellen, dass die Ordinatenachse mit "Absorbance at 220" zu beschriften wäre. (2 Punkte)

Der UV-Bereich reicht von etwa 180 nm bis 430 nm. Unterhalb von 180 nm absorbieren alle Lösungsmittel zu stark. Bei 220 nm absorbieren viele Substanzen aus dem Bereich der organischen Chemie. Es genügt die Anwesenheit einer Doppelbindung. Für eine nennenswerte Absorption bei 280 nm braucht es hingegen konjugierte Doppelbindungen, wie man sie im egcg findet. Bei dieser Wellenlänge ist der Detektor blind für Substanzen, die nicht über konjugierte Doppelbindungen verfügen. Stellt man den Detektor auf eine Wellenlänge von 220 nm ein, erkennt er zusätzlich auch andere Substanzen. Es könnten also zusätzliche Peaks im Chromatogramm erscheinen.

- d) Stellen Sie sich vor, Sie müssten die Struktur von egcg aufklären. Im Allgemeinen ist das  $^1\text{H-NMR}$ -Spektrum eine grosse Hilfe bei der Strukturaufklärung. In diesem speziellen Fall hingegen wäre es wenig nützlich (Spektrum nicht gezeigt). Nennen Sie mindestens einen Grund, warum das so ist. (2 Punkte)

Das  $^1\text{H-NMR}$ -Spektrum ist meist eine grosse Hilfe, weil die Kopplungen zwischen Protonen Nachbarschaftsbeziehungen anzeigen. Protonen in drei Bindungen Abstand führen zu charakteristischen Aufspaltungen der Signale im Spektrum. Im egcg befinden sich praktisch keine Protonen in Nachbarschaft. Nur im zentralen Alicyclus findet man drei Protonen(gruppen), die miteinander koppeln. Man erhält also viele Singlette, die keine nützliche Information über die Nachbarschaft enthalten. Was man interpretieren kann, sind nur die Integrale und die chemischen Verschiebungen.

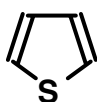
- e) Sie wünschen sich eine kürzere Analysendauer, ohne die saubere Trennung von egcg von den anderen Komponenten zu kompromittieren. Nennen Sie mindestens eine Massnahme, die zum Ziel führt. (1 Punkt)

Der Peak von egcg ist sehr klar von den anderen Peaks getrennt. Die Trennung ist eigentlich zu gut. Man kann sich eine gezielte Verschlechterung leisten. Die einfachste Methode ist die Veränderung der mobilen Phase. Es handelt sich zweifellos um eine Umkehrphasen-Methode, bei der die stationäre Phase apolar ist und die mobile Phase polar. Die Substanz egcg würde sich in einem apolaren Laufmittel gar nicht lösen. Durch eine kleinere Polarität der mobilen Phase würden sich die Retentionszeiten verkürzen. Man könnte auch eine kürzere Säule verwenden, was aber eine Kostenfrage ist. Eine weitere Massnahme ist die Vergrösserung der Fliessgeschwindigkeit. Dabei würde man den Druck erhöhen, was aber schnell an Grenzen stösst. In Kombination mit einer kürzeren Säule liesse sich aber viel erreichen.

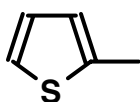
## Aufgabe 4 12 Punkte

Sie haben die Aufgabe, in einem verunreinigten Grundwasser die drei substituierten Thiophene II, III und IV (siehe unten) in einer Konzentration von einigen mg/kg nachzuweisen. Es steht Ihnen beliebig viel Probe zur Verfügung. Für die Stammverbindung Thiophen (I) finden Sie folgende physikalischen Eigenschaften in der Literatur:

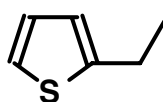
Schmelzpunkt:  $-38.3^{\circ}\text{C}$   
 Siedepunkt:  $84.2^{\circ}\text{C}$   
 Dichte:  $1.0649\text{ g/ml}$   
 Brechungsindex:  $1.5289$   
 $\lambda_{\text{max}}$ :  $231\text{ nm}$  ( $\log \epsilon$ :  $3.87$ ) (in Ethanol)  
 Löslichkeit: in Wasser schwerlöslich  
 in jedem Verhältnis mischbar mit organischen Lösungsmitteln wie Ethanol, Acetonitril, Hexan, Dichlormethan etc.



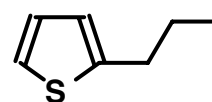
I



II



III



IV

Jemand behauptet, mit der folgenden Versuchsanordnung das Ziel erreicht zu haben:

Methode: HPLC (reversed phase)

Stationäre Phase: RP-18, Korngröße  $5\ \mu\text{m}$

Säule: Länge  $25\text{ cm}$ , innerer Durchmesser  $4.6\text{ mm}$

Mobile Phase: Wasser und Acetonitril

Konzentrationsgradient:  $50\%$  Wasser konstant während  $5\text{ min}$   
 dann während  $10\text{ min}$  linearer Anstieg auf  $55\%$  Wasser  
 dann konstant bis zum Analysenende nach ca. total  $20\text{ min}$

Detektor: RI (Brechungsindex)

Einspritzung:  $100\ \mu\text{l}$  Grundwasser (recht viel), vorgängig filtriert durch ein Mikrofilter mit  $0.5\ \mu\text{m}$  Porenweite.

Elutionsreihenfolge: II, III, IV, vollständig getrennt

- Kommentieren Sie kritisch die Methode als Ganzes sowie ihre einzelnen Komponenten. Zweifeln Sie an der Brauchbarkeit der Methode?
- Sehen Sie Möglichkeiten, die Methode in gewissen Details zu verbessern? Welche Verbesserungen sind das? Wenn Sie die Methode für gut halten, begründen Sie, warum es Verbesserungen nicht gibt.
- Entwerfen Sie eine eigene möglichst gute Methode. Inwiefern ist Ihre Methode der anderen überlegen, inwiefern unterlegen? Begründen Sie Ihre Ansicht.

**Hinweis der Examinatoren vor der Prüfung beim Besprechen der Aufgaben: Die Teilfragen a), b), und c) hängen teilweise zusammen. Es ist nicht nötig, sich bei der Beantwortung explizit auf die Teilfragen zu beziehen.**

Es wurden auch Antworten als richtig bewertet, die als zweifelhaft bezeichnet werden müssen, da sie der Erfahrung widersprechen. Die Erfahrung kann indessen nicht vorausgesetzt werden.

Falsche Antworten führen nicht zu Punktabzügen.

Folgende Teilantworten wurden mit dem Maximum von 2 Punkten bewertet: (Die folgenden Antworten können sich widersprechen. Mehrere unterschiedliche Antworten können als richtig angesehen werden, solange nicht zwei widersprüchliche Antworten genannt werden.)

Der gewählte Detektor ist nicht geeignet. Die Substanzen absorbieren im kurzwelligen UV-Bereich. Ein UV-Detektor ist wesentlich empfindlicher als ein RI-Detektor.

Ein RI-Detektor ist nicht geeignet, wenn ein Laufmittelgradient gefahren wird. Die Änderung des Brechungsindex durch die variable Zusammensetzung des Laufmittels ist grösser als jene durch die Elution einer Komponente.

Man könnte statt des wenig empfindlichen RI-Detektors einen elektrochemischen Detektor einsetzen.

Der Gradient ist so klein, dass man auf ihn auch verzichten könnte. Man könnte z.B. ein Laufmittel mit 50 % Wasser verwenden. Man könnte auch einen grösseren Gradienten versuchen.

Wenn schon ein Gradient gefahren wird, dann nicht in die Richtung grösserer Polarität, sondern umgekehrt. Die Elution wird sonst gegen Ende des Chromatogramms noch verzögert.

Die Elutionsreihenfolge ist richtig, da die Substanz mit der längsten Seitenkette am wenigsten polar ist und daher am längsten auf der (apolaren) stationären Phase verweilt.

Die verwendete flüssigchromatographische Methode ist gut geeignet, da sich wässrige Lösungen mit einer Umkehrphasen-Methode direkt einspritzen lassen.

Eine ausschlusschromatographische Methode ist besser geeignet. Der Grössenunterschied der Moleküle reicht gerade aus. (Diese Antwort wurde als richtig angesehen, obwohl sie sehr zweifelhaft ist. Man würde keinesfalls so eine Methode verwenden.)

Eine gaschromatographische Methode eignet sich besser, da die Substanzen genügend flüchtig sind.

Bei einer gaschromatographischen Methode ist der Flammenionisationsdetektor gut geeignet. Er ist sehr empfindlich.

Der FID ist blind für das Lösungsmittel Wasser. Er lässt sich also durch grosse Mengen Wasser nicht stören.

Einige Teilantworten wurden mit 1 oder mit 1/2 Punkt bewertet.

Die beste Methode zur Lösung des Problems:  
Gaschromatographische Methode mit einem FID: einfach und robust, hohe Auflösung, grosse Empfindlichkeit, direkte Einspritzung.