

Aufgabe 1

1 Benzoessäure (Benzolcarbonsäure) und ihre Salze werden als Konservierungsmittel (E210 – E213) in diversen Lebensmitteln eingesetzt.

1.1 Die technische Herstellung von Benzoessäure erfolgt durch katalytische Oxidation von Toluol (Methylbenzol) mit Luftsauerstoff. Als weiteres Produkt entsteht Wasser.

- Formulieren Sie für diese Reaktion eine Reaktionsgleichung unter Verwendung von Strukturformeln mit bindenden und nichtbindenden Elektronenpaaren.
- Begründen Sie mit Hilfe von Oxidationszahlen, dass es sich hierbei um eine Redoxreaktion handelt.

Toluol und Benzoessäure gehören auf Grund ihrer Struktur zu den aromatischen Verbindungen.

- Nennen Sie Besonderheiten des gemeinsamen Strukturelementes, welches Benzoessäure und Toluol den aromatischen Verbindungen zuordnet.

5 VP

1.2 Eine Stoffportion Benzoessäure der Masse 12,2 g wird in Wasser gelöst und auf einen Liter Lösung aufgefüllt.

In dieser Lösung wird ein pH-Wert von 2,61 gemessen.

- Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für das Protolysegleichgewicht in wässriger Lösung.
- Geben Sie das Massenwirkungsgesetz für diese Reaktion an und berechnen Sie die Säurekonstante der Benzoessäure.
Begründen Sie eventuelle Vereinfachungen im Rechenweg.

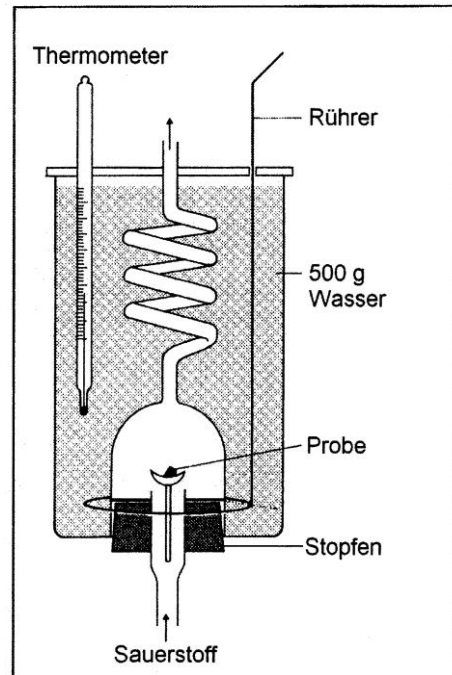
5 VP

1.3 Eine wässrige Lösung von Benzoessäure und Natriumbenzoat kann als Puffersystem wirken.

- Erklären Sie, wie dieses System den pH-Wert bei Zugabe von Säuren bzw. Basen stabilisieren kann.

2 VP

- 1.4 Die Bildungsenthalpie von Benzoesäure soll experimentell ermittelt werden. Dazu wird in einem Verbrennungskalorimeter (siehe Abbildung) eine Stoffportion Benzoesäure von $m = 0,20 \text{ g}$ verbrannt. Dabei wird im Wasser (500 g) eine Temperaturerhöhung von $\Delta\vartheta = 2,3 \text{ K}$ gemessen. Die Wärmekapazität der verwendeten Kalorimeteranordnung beträgt $120 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$. Die spezifische Wärmekapazität von Wasser beträgt $c_w = 4,18 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Nach der Verbrennung liegt das entstehende Wasser gasförmig vor.



- Berechnen Sie die molare Standardbildungsenthalpie von Benzoesäure. **5 VP**
- 2 Im Stoffwechsel wird die Benzoesäure durch Glycin (Aminoethansäure) gebunden, wobei durch Reaktion der Carboxylgruppe der Benzoesäure mit der Aminogruppe des Glycins Hippursäure entsteht. Die Hippursäure ist besser wasserlöslich als die Benzoesäure und kann daher über die Niere ausgeschieden werden.
- Formulieren Sie für die Reaktion von Benzoesäure mit Glycin eine Reaktionsgleichung mit Strukturformeln. Benennen Sie die bei dieser Reaktion neu gebildete Gruppe.
 - Begründen Sie die bessere Wasserlöslichkeit von Hippursäure im Vergleich zur Benzoesäure. **3 VP**

20 VP

Aufgabe 2

- 1 L-Glutaminsäure (L-2-Aminopentandisäure) ist als proteinogene Aminosäure Baustein der meisten Proteine und natürlicher Bestandteil vieler Nahrungsmittel. Als Geschmacksverstärker wird Mononatriumglutamat (Mononatriumsalz der Glutaminsäure, E621) bevorzugt auch in der asiatischen Küche eingesetzt. Ob eine erhöhte Einnahme dieses Salzes bei manchen Menschen Überempfindlichkeitsreaktionen auslösen kann, ist bisher nicht geklärt.

- Zeichnen Sie die Strukturformel der L-Glutaminsäure in FISCHER-Projektion mit allen bindenden und nichtbindenden Elektronenpaaren und erläutern Sie, was unter einer L-2-Aminosäure (L- α -Aminosäure) zu verstehen ist.

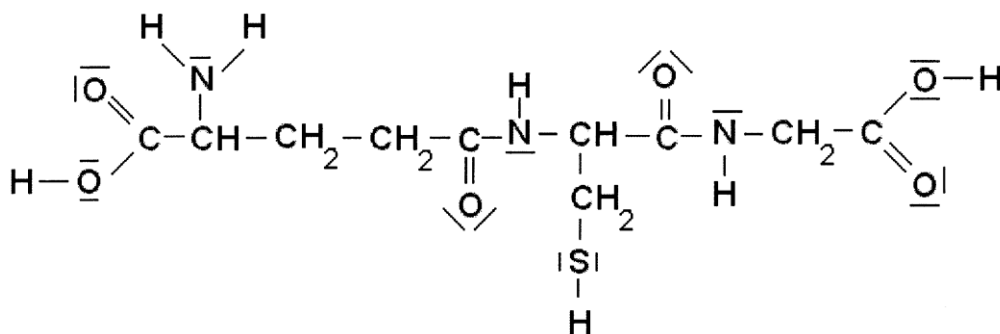
Viele Aminosäuren besitzen asymmetrisch substituierte Kohlenstoffatome.

- Überprüfen und begründen Sie, ob dies auch für Glutaminsäure zutrifft.

3 VP

- 2 In gebundener Form zeigt Glutaminsäure keine geschmacksverstärkende Wirkung.

So ist sie beispielsweise auch Bestandteil des Glutathions, eines Tripeptids, das aus L-Glutaminsäure, Glycin (2-Aminoethansäure) und L-Cystein aufgebaut ist.



Glutathion

- 2.1 Benennen Sie die Aminosäurebausteine von links nach rechts und formulieren Sie die Strukturformel von Cystein in FISCHER-Projektion.

Erläutern Sie, welchen Einfluss die Seitenkette des Cysteins auf die räumliche Struktur eines Proteins haben kann.

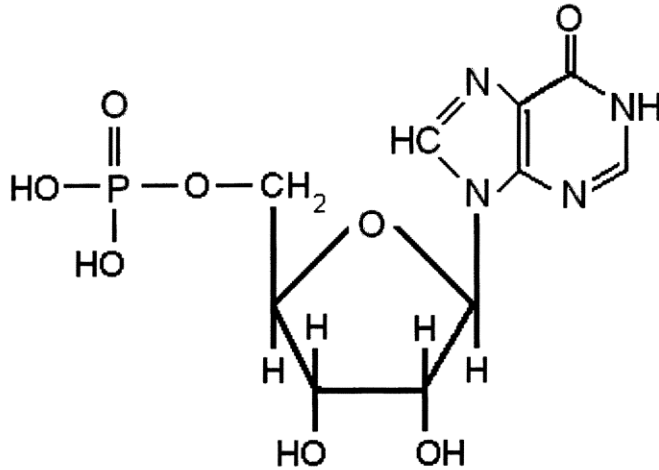
4 VP

- 2.2 Bei der Untersuchung von Nahrungsmitteln hinsichtlich ihres Gehalts an verschiedenen Aminosäuren werden die Proteinmoleküle zunächst vollständig hydrolysiert.

- Erläutern Sie ein Verfahren zur Trennung des Aminosäuregemisches und anschließender Identifizierung der enthaltenen Aminosäuren.

5 VP

- 3 Auch Inosinmonophosphat (IMP) spielt eine wichtige Rolle als Geschmacksverstärker in Lebensmitteln (E630). Hierbei handelt es sich um ein Nukleotid, bei dem ein β -Ribosemolekül mit der stickstoffhaltigen Base Hypoxanthin und einem Phosphorsäuremolekül verknüpft ist.



Inosinmonophosphat (IMP)

- 3.1 Benennen Sie die Bindung zwischen dem Phosphorsäurerest und dem Riboserest.

Zeichnen Sie das offenkettige Ribosemolekül in FISCHER-Projektion und begründen Sie, ob es sich um einen D- oder L-Zucker handelt.

Beschreiben Sie einen Versuch, mit dessen Hilfe Sie klären können, ob es sich bei der Ribose um einen reduzierenden Zucker handelt, und begründen Sie das zu erwartende Ergebnis. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die von Ihnen gewählte Nachweisreaktion bei positivem Ergebnis. **6 VP**

- 3.2 Bei IMP handelt es sich um ein Nukleotid, das den Nukleotiden der DNA sehr ähnlich ist.

- Nennen Sie die Unterschiede zwischen IMP und den DNA-Nukleotiden.

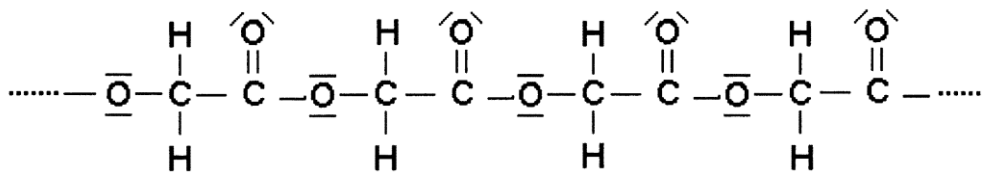
2 VP

20 VP

Aufgabe 3

Kunststoffe erfüllen in der Medizin vielfältige Aufgaben, z.B. als chirurgisches Nahtmaterial. Beispiele hierfür sind MARLIN®, DAFILON® und SECUREX®.

- 1.1 MARLIN® ist ein synthetischer Faden aus Polyglykolsäure. Anders als bei nicht-resorbierbaren Fäden, die nach einiger Zeit entfernt werden müssen, wird MARLIN® vom Körper abgebaut, da es durch die Anwesenheit von Körperwasser gespalten wird.



Ausschnitt aus der Strukturformel der Polyglykolsäure

- Zeichnen Sie die Strukturformel des Monomers und geben Sie den systematischen Namen an.
 - Begründen Sie die Abbaubarkeit von MARLIN® und benennen Sie den Reaktionstyp der dabei ablaufenden Reaktion. **4 VP**
- 1.2 DAFILON® kann aus Hexan-1,6-disäure und 1,6-Diaminohexan hergestellt werden.
- Zeichnen Sie einen charakteristischen Strukturformelausschnitt aus dem DAFILON®-Polymer und benennen Sie den Reaktionstyp.
- In einem Schülerpraktikum soll nachgewiesen werden, dass DAFILON® eine Stickstoffverbindung ist. Hierbei wird eine Kunststoffprobe im Reagenzglas erhitzt. In die aufsteigenden Dämpfe wird ein feuchtes Universalindikatorpapier gehalten.
- Nennen und erklären Sie die zu erwartende Beobachtung unter Verwendung einer Reaktionsgleichung. **4 VP**
- 1.3 SECUREX® ist ein Nahtmaterial aus Polypropen.
- Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus für die Herstellung von SECUREX® durch radikalische Polymerisation. **3 VP**

- 1.4 Bei der Herstellung von chirurgischem Nahtmaterial wird das Kunststoffgranulat zunächst eingeschmolzen und dann zu Fäden weiterverarbeitet.

Nahtmaterial	Beginn des Schmelzbereichs
MARLIN®	223 °C
DAFILON®	251 °C
SECUREX®	160 °C

- Erklären Sie den unterschiedlichen Beginn der Schmelzbereiche der drei Nahtmaterialien. **4 VP**

- 2 Bis Mitte des 19. Jahrhunderts wurden tiefe Hautblussuren ausschließlich mit einer Wundabdeckung aus gezupften Leinenresten verbunden. Dem Tübinger Chirurgen Viktor von Bruns gelang es, Verbandwatte aus entfetteter Baumwolle herzustellen. Für moderne Verbandsmaterialien werden auch andere Materialien wie z.B. Celluloseacetat verwendet, das man durch Umsetzung von Cellulose mit Essigsäure erhält.
 - Zeichnen Sie einen Formelausschnitt aus dem Cellulosemolekül in HAWORTH-Projektion.
 - Stellen Sie den Monosaccharidbaustein dieses Makromoleküls in FISCHER-Projektion dar und nennen Sie eine Nachweismethode für dieses Monomer.
 - Formulieren Sie eine begründete Hypothese für die geringere Saugfähigkeit von Celluloseacetat im Vergleich zu Cellulose. **5 VP**

20 VP

Aufgabe 4

Die Metalle Silber und Zink sind zum Einsatz in Batterien geeignet.

1.1 Eine galvanische Zink-Silber-Zelle soll mit laborüblichen Geräten gebaut werden.

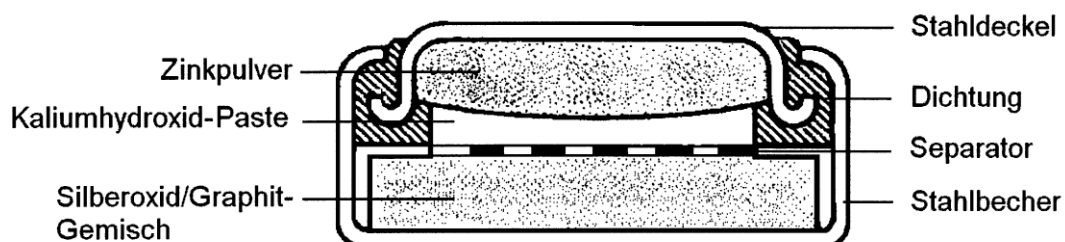
- Fertigen Sie eine beschriftete Versuchsskizze zur Ermittlung der Zellspannung einer Zink-Silber-Zelle bei Standardbedingungen an.
- Erklären Sie, weshalb zwischen den Halbzellen eine elektrische Spannung gemessen werden kann.
- Berechnen Sie die Spannung, die zwischen den Halbzellen bei Standardbedingungen gemessen werden kann. **5 VP**

1.2 Die Konzentration des Elektrolyten hat Einfluss auf das Potenzial der Halbzelle. In der folgenden Tabelle ist die experimentell gegen eine Standardwasserstoffhalbzelle ermittelte Abhängigkeit des Potentials der Zinkhalbzelle von der Elektrolytkonzentration angegeben.

$c(\text{Zn}^{2+})$ in $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	0,01	0,05	0,1	0,5	1	1,5	2
E in mV	- 820	- 800	- 790	- 780	- 760	- 755	- 749

- Stellen Sie diese Abhängigkeit in einem Diagramm dar.
(*Hinweis:* Tragen Sie die Konzentration auf der x-Achse auf.)
- Begründen Sie mit Hilfe qualitativer Überlegungen den Kurvenverlauf.
- Ermitteln Sie die Spannung der Zink-Silber-Zelle für den Fall, dass die Elektrolytkonzentration in der Zinkhalbzelle $c(\text{Zn}^{2+}) = 0,7 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ beträgt und in der Silberhalbzelle Standardbedingungen vorliegen.
- Erläutern Sie die Auswirkungen auf die Zellspannung, wenn bei konstanter Zink-Ionen-Konzentration die Silber-Ionen-Konzentration in der anderen Halbzelle verändert wird. **8 VP**

2 Technisch bedeutsam sind Zink-Silber(I)-oxid-Batterien in Form von Knopfzellen. Solche Batterien werden in Armbanduhren eingesetzt.



Schnittbild einer Zink-Silber(I)-oxid-Batterie

- Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für die Elektrodenreaktionen bei Stromfluss in der Zink-Silber(I)-oxid-Batterie.
- Geben Sie an, an welcher Stelle sich der Plus- bzw. Minus-Pol der Batterie befindet. **3 VP**

3 Vergleichen Sie die Zink-Silber(I)-oxid-Batterie von Teilaufgabe 2 mit der galvanischen Zink-Silber-Zelle von Teilaufgabe 1 bezüglich der Elektrodenmaterialien und der Elektrolytzusammensetzung.

Gehen Sie dabei auch auf die Funktion des Graphit-Pulvers und des Separators ein. **4 VP**

20 VP

Periodensystem der Elemente																												
	I	II	III										IV	V	VI	VII	VIII											
1	H 1 1,0		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> mittlere Atommasse in u Au 197,0 79 2,4 </div> <div> Ordnungszahl Au 79 2,4 </div> <div> Elektronegativität (PAULING) Au 2,4 </div> </div>																									He 2 4,0
2	Li 3 6,9	Be 4 9,0											B 5 10,8	C 6 12,0	N 7 14,0	O 8 16,0	F 9 19,0	Ne 10 20,2										
3	Na 11 23,0	Mg 12 24,3											Al 13 27,0	Si 14 28,1	P 15 31,0	S 16 32,1	Cl 17 35,5	Ar 18 39,9										
4	K 19 39,1	Ca 20 40,1	Sc 21 45,0	Ti 22 47,9	V 23 50,9	Cr 24 52,0	Mn 25 54,9	Fe 26 55,8	Co 27 58,9	Ni 28 58,7	Cu 29 63,5	Zn 30 65,4	Ga 31 69,7	Ge 32 72,6	As 33 74,9	Se 34 79,0	Br 35 79,9	Kr 36 83,8										
5	Rb 37 85,5	Sr 38 87,6	Y 39 88,9	Zr 40 91,2	Nb 41 92,9	Mo 42 95,9	Tc 43 (98)	Ru 44 101,1	Rh 45 102,9	Pd 46 106,4	Ag 47 107,9	Cd 48 112,4	In 49 114,8	Sn 50 118,7	Sb 51 121,8	Te 52 127,6	I 53 126,9	Xe 54 131,3										
6	Cs 55 132,9	Ba 56 137,3	La-Lu 57-71	Hf 72 178,5	Ta 73 180,9	W 74 183,8	Re 75 186,2	Os 76 190,2	Ir 77 192,2	Pt 78 195,1	Au 79 197,0	Hg 80 200,6	Tl 81 204,4	Pb 82 207,2	Bi 83 209,0	Po 84 (209)	At 85 (210)	Rn 86 (222)										
7	Fr 87 (223)	Ra 88 (226)	Ac-Lr 89-103	Rf 104 (260)	Db 105 (260)	Sg 106 (266)	Bh 107 (262)	Hs 108 (265)	Mt 109 (268)	Ds 110 (273)	Rg 111 (272)																	
Lanthaniden			La 57 138,9	Ce 58 140,1	Pr 59 140,9	Nd 60 144,2	Pm 61 (145)	Sm 62 150,4	Eu 63 152,0	Gd 64 157,2	Tb 65 158,9	Dy 66 162,5	Ho 67 164,9	Er 68 167,3	Tm 69 168,9	Yb 70 173,0	Lu 71 175,0											
Actiniden			Ac 89 1,1	Th 90 1,1	Pa 91 1,1	U 92 1,1	Np 93 1,1	Pu 94 1,1	Am 95 1,1	Cm 96 (247)	Bk 97 (247)	Cf 98 (251)	Es 99 (254)	Fm 100 (253)	Md 101 (258)	No 102 (256)	Lr 103 (256)											

Säurekonstanten bei 25 °C

Säure	K_s in mol · L ⁻¹	pK _s
HI	10 ⁸	- 8
HBr	10 ⁶	- 6
HCl	10 ⁶	- 6
H ₂ SO ₄	1000	- 3
H ₃ O ⁺	54,95	- 1,74
HNO ₃	19,95	- 1,30
HSO ₄ ⁻	1,02 · 10 ⁻²	1,99
H ₂ SO ₃	1,38 · 10 ⁻²	1,86
H ₃ PO ₄	7,08 · 10 ⁻³	2,15
HNO ₂	7,08 · 10 ⁻⁴	3,15
HF	6,76 · 10 ⁻⁴	3,17
HCOOH	1,82 · 10 ⁻⁴	3,74
CH ₃ COOH	1,74 · 10 ⁻⁵	4,76
H ₂ CO ₃ (CO ₂ + H ₂ O)	4,47 · 10 ⁻⁷	6,35
H ₂ S	9,55 · 10 ⁻⁸	7,02
HSO ₃ ⁻	6,46 · 10 ⁻⁸	7,19
H ₂ PO ₄ ⁻	6,31 · 10 ⁻⁸	7,20
HCN	6,17 · 10 ⁻¹⁰	9,21
NH ₄ ⁺	5,75 · 10 ⁻¹⁰	9,24
C ₆ H ₅ OH	1,05 · 10 ⁻¹⁰	9,98
HCO ₃ ⁻	4,68 · 10 ⁻¹¹	10,33
HPO ₄ ²⁻	4,17 · 10 ⁻¹³	12,38
HS ⁻	1,26 · 10 ⁻¹⁴	13,90
H ₂ O	1,80 · 10 ⁻¹⁶	15,74
NH ₃	1,00 · 10 ⁻²³	23,00
OH ⁻	1,00 · 10 ⁻²⁴	24,00

Elektrodenpotenziale bei 25 °C in wässrigen Lösungen ^{*)}

Reduzierte Form	Oxidierte Form	Potenzial in Volt
Li	Li ⁺	- 3,04
K	K ⁺	- 2,94
Sr	Sr ²⁺	- 2,90
Ca	Ca ²⁺	- 2,87
Na	Na ⁺	- 2,71
Mg	Mg ²⁺	- 2,36
Al	Al ³⁺	- 1,68
Mn	Mn ²⁺	- 1,18
H ₂ + 2 OH ⁻	2 H ₂ O	- 0,81
Zn	Zn ²⁺	- 0,76
Cr	Cr ³⁺	- 0,74
S ²⁻	S (s)	- 0,45
Fe	Fe ²⁺	- 0,44
H ₂ + 2 OH ⁻	2 H ₂ O	- 0,41 (bei pH = 7)
Pb + SO ₄ ²⁻	PbSO ₄ (s)	- 0,36
Co	Co ²⁺	- 0,28
Ni	Ni ²⁺	- 0,24
Pb	Pb ²⁺	- 0,13
H ₂	2 H ⁺	0,00
Cu	Cu ²⁺	+ 0,34
4 OH ⁻	O ₂ + 2 H ₂ O	+ 0,40
2 I ⁻	I ₂	+ 0,54
H ₂ O ₂	O ₂ + 2 H ⁺	+ 0,68
Ag	Ag ⁺	+ 0,80
2 H ₂ O	O ₂ + 4 H ⁺	+ 0,81 (bei pH = 7)
2 Br ⁻	Br ₂	+ 1,10
Pt	Pt ²⁺	+ 1,18
2 H ₂ O	O ₂ + 4 H ⁺	+ 1,23
2 Cl ⁻	Cl ₂	+ 1,36
Au	Au ³⁺	+ 1,42
Pb ²⁺ + 2 H ₂ O	PbO ₂ (s) + 4 H ⁺	+ 1,47
PbSO ₄ (s) + 2 H ₂ O	PbO ₂ (s) + SO ₄ ²⁻ + 4 H ⁺	+ 1,68
2 H ₂ O	H ₂ O ₂ + 2 H ⁺	+ 1,76
2 F ⁻	F ₂	+ 2,89

^{*)} Wenn nicht anders angegeben, liegen Standardbedingungen vor.

Thermodynamische Daten bei Standardbedingungen und 25 °C

	$\Delta_f H^0$ in $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	S^0 in $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$		$\Delta_f H^0$ in $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	S^0 in $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
H ₂ (g)	0	131	CH ₄ (g)	-74	186
H ⁺ (aq)	0	0	C ₂ H ₆ (g)	-84	230
O ₂ (g)	0	205	C ₃ H ₈ (g)	-105	270
H ₂ O(l)	-286	70	C ₄ H ₁₀ (g)	-126	310
H ₂ O(g)	-242	189	C ₈ H ₁₈ (l)	-250	361
C(s) Graphit	0	6			
CO(g)	-111	198	C ₂ H ₄ (g)	52	220
CO ₂ (g)	-394	214			
			C ₂ H ₂ (g)	228	201
N ₂ (g)	0	192			
N ₂ O(g)	82	220			
NO(g)	90	211			
NO ₂ (g)	33	240	CH ₃ OH(l)	-238	127
N ₂ O ₄ (g)	9	304	C ₂ H ₅ OH(l)	-277	161
HNO ₃ (l)	-174	156			
NH ₃ (g)	-46	192	HCHO(g)	-109	219
			CH ₃ CHO(g)	-166	264
S(s)	0	32			
SO ₂ (g)	-297	248	CH ₃ COCH ₃ (l)	-248	200
SO ₃ (g)	-396	257			
H ₂ SO ₄ (l)	-814	157	HCOOH(l)	-409	128
			CH ₃ COOH(l)	-487	160
			C ₆ H ₆ (l)	49	173
			C ₆ H ₅ CH ₃ (l)	12	220
			C ₆ H ₅ OH(s)	-155	142
			C ₆ H ₅ NH ₂ (l)	35	192
			C ₆ H ₅ CH=CH ₂ (l)	104	180
			Glucose(s)	-1273	212
			Saccharose(s)	-2222	360