

Haupttermin

Schwefelwasserstoff ist ein farbloses, nach faulen Eiern riechendes, sehr giftiges Gas, das bei der Aufarbeitung fossiler Brennstoffe in großen Mengen anfällt. Die Geruchsschwelle liegt bei einem Volumengehalt in der Luft von nur 10^{-5} %.

- 1 Im Labor kann Schwefelwasserstoff durch Auftropfen von Salzsäure auf Eisen(II)-sulfid gewonnen werden.

Stellen Sie eine Reaktionsgleichung für diese Reaktion auf und berechnen Sie, welche Masse Eisen(II)-sulfid in einem Labor der Größe 10m x 5m x 3m maximal umgesetzt werden kann, bevor bei Normbedingungen Schwefelwasserstoff zu riechen ist.

4 VP

- 2 Um die Säurekonstante K_S von Schwefelwasserstoff zu bestimmen, löst man 0,1 Mol Schwefelwasserstoff in Wasser und füllt bis zu einem Volumen von einem Liter auf. Der gemessene pH-Wert der Lösung beträgt 4,03.

Berechnen Sie die Säurekonstante K_S für Schwefelwasserstoff.
Erläutern Sie eine Näherung, die Ihrer Berechnung zu Grunde liegt.
Beweisen Sie durch exakte Berechnung, dass diese Näherung zulässig ist.

5 VP

- 3 Um den bei der Aufarbeitung fossiler Brennstoffe anfallenden Schwefelwasserstoff weiterzuverwerten, wird dieser in einem ersten Schritt mit Sauerstoff in einer exothermen Reaktion zu Schwefeldioxid und Wasser umgesetzt.
Das entstandene Schwefeldioxid reagiert in einem zweiten Schritt mit Schwefelwasserstoff zu elementarem Schwefel und Wasserdampf.

- 3.1 Beschreiben Sie Möglichkeiten, wie sich im ersten Schritt die Ausbeute an Schwefeldioxid erhöhen lässt.
Begründen Sie Ihre Aussagen.

4 VP

- 3.2 Geben Sie an, wie sich im zweiten Schritt die Entropie ändert. Begründen Sie Ihre Angabe.
Erläutern Sie den Reaktionstyp dieses zweiten Schrittes.

4 VP

- 4 Wird Natriumhydrogensulfid in Wasser gelöst, so reagiert diese Lösung alkalisch.

Formulieren Sie hierfür eine Reaktionsgleichung unter Verwendung von Strukturformeln mit bindenden und nichtbindenden Elektronenpaaren.
Kennzeichnen Sie die korrespondierenden Säure-Base-Paare.

3 VP

Haupttermin

Nachwachsende Rohstoffe werden zunehmend interessant für die Forschung, die Wirtschaft und den Verbraucher. Gegenwärtig werden vorrangig Fette und Öle genutzt.

- 1 Zur Gewinnung von Biodiesel und Tensiden wird Raps großflächig angebaut. Im Rapsöl sind überwiegend Ölsäure (cis-9-Octadecensäure) und Laurinsäure (Dodecansäure) verestert.

- 1.1 Biodiesel ist ein Gemisch aus Fettsäuremethylestern, die durch Umsetzung von Rapsöl mit Methanol hergestellt werden.

Zeichnen Sie die Strukturformeln aller Reaktionsprodukte dieser Umsetzung.
Formulieren Sie eine Reaktionsgleichung für die vollständige Verbrennung eines Fettsäuremethylesters.

Wie lässt sich der Einsatz von Biodiesel an Stelle von herkömmlichem Dieselmotorkraftstoff rechtfertigen? Was könnte dagegen sprechen? Führen Sie je ein Argument aus.

6 VP

- 1.2 Zur Herstellung des Tensids Natriumlaurylsulfat (Natriumdodecylsulfat) wird die aus dem Rapsöl gewonnene Laurinsäure zunächst katalytisch hydriert. In einem zweiten Schritt wird das entstandene Dodecanol mit Schwefelsäure umgesetzt. Durch Zugabe von Natronlauge wird dann das Salz gebildet.

Formulieren Sie je eine Reaktionsgleichung für diese drei Reaktionsschritte.
Erklären Sie an einem Beispiel, dass das Dodecylsulfat-Anion grenzflächenaktiv ist.

5 VP

- 2 Auch Kohlenhydrate gewinnen als nachwachsende Rohstoffe zunehmend an Bedeutung. Aus dem Polysaccharid Stärke wird durch enzymatische Hydrolyse Glucose gewonnen. Aus Glucose lässt sich durch Umsetzung mit Toluol-2,4-diisocyanat ein Reaktivklebstoff herstellen, der z.B. Papier verkleben kann.

- 2.1 Zeichnen Sie einen Strukturformelausschnitt aus einem Stärkemolekül (Amylose) in HAWORTH-Projektion. Stellen Sie drei Glucoseeinheiten dar.
Geben Sie ein einfaches Experiment an, mit dem die Hydrolyse der Stärke verfolgt werden kann.

4 VP

- 2.2 Vermischt man die Glucose-Komponente mit der Diisocyanat-Komponente des Papierklebstoffs, entsteht ein duroplastisches Polymer.
Zeichnen Sie einen geeigneten Strukturformelausschnitt aus diesem Makromolekül.
Nennen Sie den Reaktionstyp der Polyreaktion.
Begründen Sie, warum speziell Papier sehr gut verklebt, wenn die Komponenten vor dem Aushärten auf das Papier aufgetragen werden.

5 VP

20 VP

Haupttermin

Propen ist ein wichtiger Ausgangsstoff für technische Synthesen.

- 1 Propen kann man durch katalytische Dehydrierung aus Propan gewinnen.
- 1.1 Ermitteln Sie an Hand der gegebenen Tabellenwerte, ab welcher Mindesttemperatur diese Reaktion exergonisch abläuft.

4 VP

Substanz	$\Delta_f H^0$ (kJ · mol ⁻¹)	S^0 (J · mol ⁻¹ · K ⁻¹)
Propan (g)	- 105	270
Propen (g)	20	267
Wasserstoff (g)	0	131

- 1.2 Beschreiben Sie ausführlich eine Methode, mit der man überprüfen kann, ob die Reaktion vollständig verlaufen ist.

4 VP

- 2 Beschreiben Sie den räumlichen Bau eines Propenmoleküls. Gehen Sie dabei auf die Bindungsverhältnisse ein.

3 VP

- 3 Polypropen (PP) entsteht durch Polymerisation von Propen.

Zeichnen Sie einen Ausschnitt aus der Strukturformel eines Polypropenmoleküls. Erklären Sie das Verhalten dieses Stoffes beim Erhitzen.

3 VP

- 4 Für die technische Herstellung von Aceton und Phenol wird Isopropylbenzol (2-Phenylpropan) benötigt. Dieses erhält man durch säurekatalysierte Reaktion von Propen mit Benzol.

Formulieren Sie für diese Reaktion eine Reaktionsgleichung mit Strukturformeln. Erläutern Sie den Mechanismus dieser Reaktion.

6 VP

 20 VP

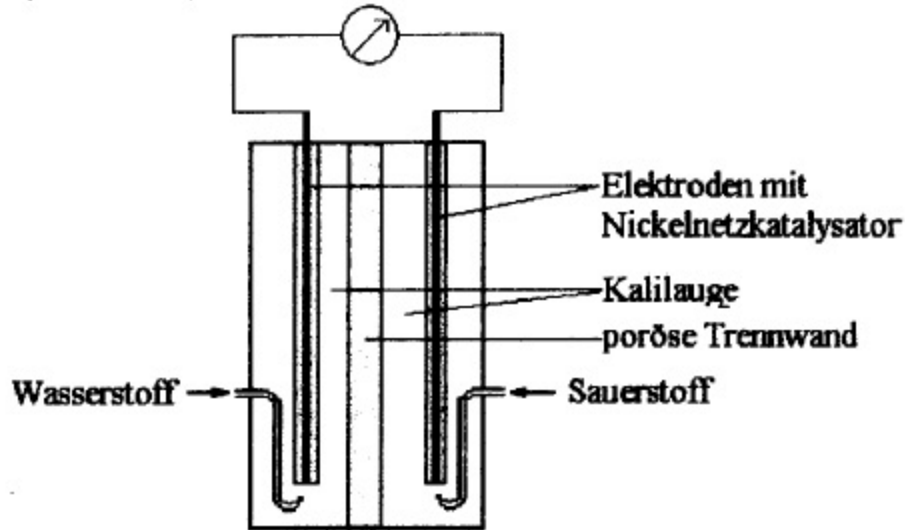
- 1 Blei ist eines der wichtigsten Gebrauchsmetalle. Rohstoff für die Bleiherstellung ist Blei(II)-sulfid (Bleiglanz).
Beim Röstreaktionsverfahren wird das Blei(II)-sulfid teilweise mit Sauerstoff umgesetzt, so dass Blei(II)-oxid entsteht (Reaktion A).
Das restliche Blei(II)-sulfid reagiert unter Luftabschluss mit dem entstandenen Blei(II)-oxid zu Blei (Reaktion B).
Bei beiden chemischen Reaktionen entsteht als weiteres Produkt Schwefeldioxid.
- 1.1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für die Reaktionen A und B.
Benennen Sie für beide Reaktionen jeweils das Oxidations- und das Reduktionsmittel.
Welcher Anteil des eingesetzten Blei(II)-sulfids muss im ersten Reaktionsschritt umgesetzt werden, um im zweiten Schritt eine vollständige Reaktion zu Blei zu erreichen? 4 VP
- 1.2 Elementares Blei ist ein duktiles Metall, das den elektrischen Strom gut leitet.
Erläutern Sie diese Eigenschaften mit Hilfe eines geeigneten Bindungsmodells. 3 VP
- 2 Zum größten Teil wird Blei für die Herstellung von Akkumulatoren (z.B. Auto-Starterbatterien) verwendet.
- 2.1 Fertigen Sie eine beschriftete Skizze eines geladenen Bleiakkumulators an. 3 VP
- 2.2 Als Elektrolyt wird im Bleiakkumulator verdünnte Schwefelsäure (Massenanteil $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 38\%$, Dichte $\rho = 1,28 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$) verwendet.
Berechnen Sie die Stoffmengenkonzentration $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ der Schwefelsäure.
Erklären Sie mit Hilfe der Reaktionsgleichung für den Entladevorgang, warum die Schwefelsäurekonzentration ein Maß für den Ladezustand des Akkumulators ist. 4 VP
- 3 Gegenwärtig werden als mobile Energiequellen Brennstoffzellen weiterentwickelt. Zwei verschiedene Brennstoffzelltypen sind in der Abbildung auf Blatt 2 dargestellt.
- 3.1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für die Elektrodenreaktionen der beiden Brennstoffzelltypen. Berücksichtigen Sie dabei deren unterschiedlichen Bau. 3 VP
- 3.2 Geben Sie die Reaktionsgleichung für die Gesamtreaktion in den beiden Brennstoffzellen an. Bestimmen Sie für diese Reaktion die Reaktionsenthalpie (Standardbedingungen werden angenommen). 3 VP

$\Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O})$ [kJ · mol ⁻¹]	$S^\circ(\text{H}_2\text{O})$ [J · K ⁻¹ · mol ⁻¹]	$S^\circ(\text{H}_2)$ [J · K ⁻¹ · mol ⁻¹]	$S^\circ(\text{O}_2)$ [J · K ⁻¹ · mol ⁻¹]
-286	70	131	205

Abbildungen zu Aufgabe IV.3

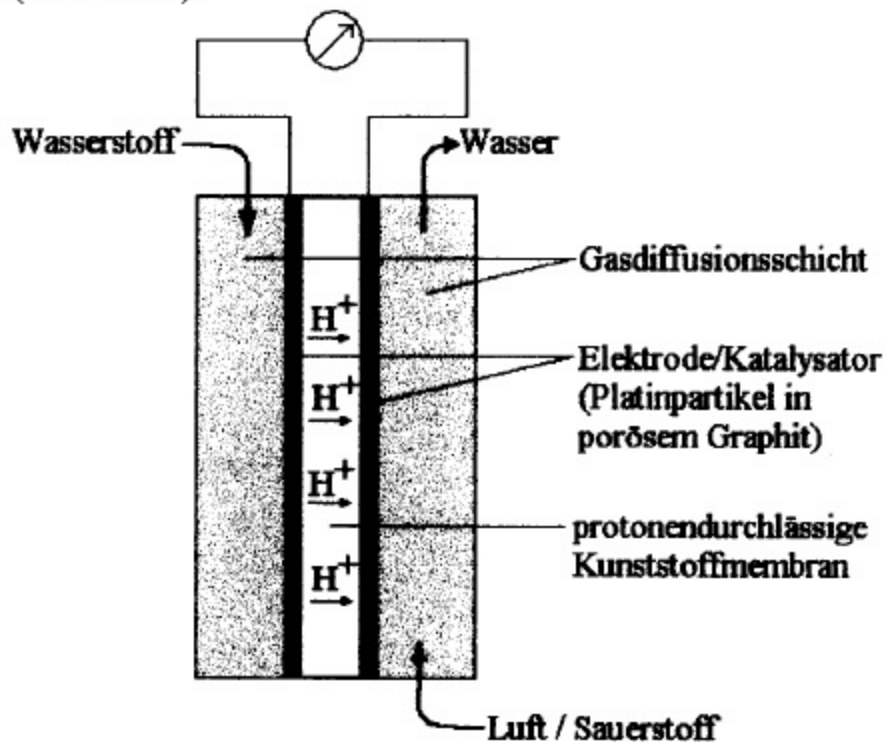
Alkalische Brennstoffzelle AFC

Als Elektrolytflüssigkeit wird bei diesem Brennstoffzelltyp Kalilauge verwendet.
Prinzipschema (vereinfacht):

Brennstoffzelle mit protonendurchlässiger Kunststoffmembran PEMFC

Hier wird keine Elektrolytflüssigkeit benutzt. Anode und Kathode werden durch eine protonendurchlässige Kunststofffolie getrennt.

Prinzipschema (vereinfacht):



reduzierte Form	oxidierte Form	Standardpotential (V)	reduzierte Form	oxidierte Form	Standardpotential (V)
Li	/ Li ⁺	+ e ⁻ -3,02	H ₂ SO ₃ + H ₂ O	/ SO ₄ ²⁻ + 4 H ⁺	+ 2e ⁻ +0,20
K	/ K ⁺	+ e ⁻ -2,92	Cu	/ Cu ²⁺	+ 2e ⁻ +0,35
Ba	/ Ba ²⁺	+ 2e ⁻ -2,90	4 OH ⁻	/ O ₂ + 2 H ₂ O	+ 4e ⁻ +0,40
Ca	/ Ca ²⁺	+ 2e ⁻ -2,76	2 I ⁻	/ I ₂	+ 2e ⁻ +0,54
Na	/ Na ⁺	+ e ⁻ -2,71	H ₂ O ₂	/ O ₂ + 2 H ⁺	+ 2e ⁻ +0,68
Mg	/ Mg ²⁺	+ 2e ⁻ -2,38	Fe ²⁺	/ Fe ³⁺	+ e ⁻ +0,77
Al	/ Al ³⁺	+ 3e ⁻ -1,67	Ag	/ Ag ⁺	+ e ⁻ +0,80
Mn	/ Mn ²⁺	+ 2e ⁻ -1,03	Hg	/ Hg ²⁺	+ 2e ⁻ +0,85
H ₂ + 2 OH ⁻	/ 2 H ₂ O	+ 2e ⁻ -0,84	2 Br ⁻	/ Br ₂	+ 2e ⁻ +1,06
Zn	/ Zn ²⁺	+ 2e ⁻ -0,76	Pt	/ Pt ²⁺	+ 2e ⁻ +1,2
Cr	/ Cr ³⁺	+ 3e ⁻ -0,74	Mn ²⁺ + 2 H ₂ O	/ MnO ₂ (s) + 4 H ⁺	+ 2e ⁻ +1,21
S ²⁻	/ S(s)	+ 2e ⁻ -0,51	2 Cr ³⁺ + 7 H ₂ O	/ Cr ₂ O ₇ ²⁻ + 14 H ⁺	+ 6e ⁻ +1,33
Fe	/ Fe ²⁺	+ 2e ⁻ -0,41	2 Cl ⁻	/ Cl ₂	+ 2e ⁻ +1,36
Pb + SO ₄ ²⁻	/ PbSO ₄ (s)	+ 2e ⁻ -0,36	Au	/ Au ³⁺	+ 3e ⁻ +1,42
Co	/ Co ²⁺	+ 2e ⁻ -0,28	Pb ²⁺ + 2 H ₂ O	/ PbO ₂ (s) + 4 H ⁺	+ 2e ⁻ +1,47
Ni	/ Ni ²⁺	+ 2e ⁻ -0,23	Mn ²⁺ + 4 H ₂ O	/ MnO ₄ ⁻ + 8 H ⁺	+ 5e ⁻ +1,51
Sn	/ Sn ²⁺	+ 2e ⁻ -0,14	PbSO ₄ (s) + 2 H ₂ O	/ PbO ₂ (s) + SO ₄ ²⁻ + 4 H ⁺	+ 2e ⁻ +1,68
Pb	/ Pb ²⁺	+ 2e ⁻ -0,13	MnO ₂ (s) + 2 H ₂ O	/ MnO ₄ ⁻ + 4 H ⁺	+ 3e ⁻ +1,68
1/2 H ₂	/ H ⁺	+ e ⁻ 0,00	2 H ₂ O	/ H ₂ O ₂ + 2 H ⁺	+ 2e ⁻ +1,77

Säurekonstanten bei 25 °C

Säure	K_S	pK_S	Säure	K_S	pK_S
OH ⁻	10 ⁻²⁴	24	CH ₃ COOH	1,75 · 10 ⁻⁵	4,76
NH ₃	10 ⁻²³	23	C ₆ H ₅ NH ₃ ⁺	2,65 · 10 ⁻⁵	4,58
H ₂ O	1,8 · 10 ⁻¹⁶	15,74	C ₆ H ₅ COOH	6,1 · 10 ⁻⁵	4,22
HS ⁻	1,03 · 10 ⁻¹³	12,9	HCOOH	1,7 · 10 ⁻⁴	3,77
HPO ₄ ²⁻	4,8 · 10 ⁻¹³	12,32	HNO ₂	4,5 · 10 ⁻⁴	3,35
H ₂ O ₂	2,4 · 10 ⁻¹²	11,62	HF	7,25 · 10 ⁻⁴	3,14
CH ₃ NH ₃ ⁺	2,3 · 10 ⁻¹¹	10,64	Fe(H ₂ O) ₆ ³⁺	6 · 10 ⁻³	2,22
HCO ₃ ⁻	4 · 10 ⁻¹¹	10,4	H ₃ PO ₄	1,1 · 10 ⁻²	1,96
C ₆ H ₅ OH	10 ⁻¹⁰	10	H ₂ SO ₃	1,1 · 10 ⁻²	1,96
Zn(H ₂ O) ₆ ²⁺	2,2 · 10 ⁻¹⁰	9,66	HSO ₄ ⁻	1,2 · 10 ⁻²	1,92
HCN	4 · 10 ⁻¹⁰	9,4	(COOH) ₂	3,5 · 10 ⁻²	1,46
NH ₄ ⁺	5,8 · 10 ⁻¹⁰	9,24	HNO ₃	21	-1,32
H ₂ PO ₄ ⁻	6,2 · 10 ⁻⁸	7,21	H ₃ O ⁺	55	-1,74
HSO ₃ ⁻	6,4 · 10 ⁻⁸	7,2	H ₂ SO ₄	10 ³	-3
H ₂ S	8,8 · 10 ⁻⁸	7,06	HCl	10 ⁶	-6
H ₂ CO ₃	3,5 · 10 ⁻⁷	6,46	HBr	10 ⁶	-6
Al(H ₂ O) ₆ ³⁺	1,3 · 10 ⁻⁵	4,9	HI	10 ⁸	-8
C ₂ H ₅ COOH	1,33 · 10 ⁻⁵	4,88	HClO ₄	10 ⁹	-9

Periodensystem der Elemente

	I	II	Hauptgruppen										III	IV	V	VI	VII	VIII																		
1	1,0 H 1																		4,0 He 2																	
2	6,9 Li 3	9,0 Be 4																	16,0 O 8	19,0 F 9	20,2 Ne 10															
3	23,0 Na 11	24,3 Mg 12																	27,0 Al 13	28,1 Si 14	31,0 P 15	32,1 S 16	35,5 Cl 17	39,9 Ar 18												
4	39,1 K 19	40,1 Ca 20																	45,0 Sc 21	47,9 Ti 22	50,9 V 23	52,0 Cr 24	54,9 Mn 25	55,8 Fe 26	58,7 Ni 28	58,9 Co 27	63,5 Cu 29	65,4 Zn 30	69,7 Ga 31	72,6 Ge 32	74,9 As 33	79,0 Se 34	79,9 Br 35	83,8 Kr 36		
5	85,5 Rb 37	87,6 Sr 38																	88,9 Y 39	91,2 Zr 40	92,9 Nb 41	95,9 Mo 42	(98) Tc 43	101,1 Ru 44	102,9 Rh 45	106,4 Pd 46	107,9 Ag 47	112,4 Cd 48	114,8 In 49	118,7 Sn 50	121,8 Sb 51	126,9 I 53	131,3 Xe 54			
6	132,9 Cs 55	137,3 Ba 56																	138,9 La 57	178,5 Hf 72	180,9 Ta 73	183,8 W 74	186,2 Re 75	190,2 Os 76	192,2 Ir 77	195,1 Pt 78	197,0 Au 79	200,6 Hg 80	204,4 Tl 81	207,2 Pb 82	209,0 Bi 83	(210) At 85	(222) Rn 86			
7	(223) Fr 87	(226) Ra 88																	(227) Ac 89	(261) Ku 104	(262) Ha 105															

Lanthanoide	140,1 Ce 58	140,9 Pr 59	144,2 Nd 60	(145) Pm 61	150,4 Sm 62	152,0 Eu 63	157,2 Gd 64	158,9 Tb 65	162,5 Dy 66	164,9 Ho 67	167,3 Er 68	168,9 Tm 69	173,0 Yb 70	175,0 Lu 71
	(232) Th 90	(231) Pa 91	238,0 U 92	(237) Np 93	(244) Pu 94	(243) Am 95	(247) Cm 96	(247) Bk 97	(251) Cf 98	(254) Es 99	(257) Fm 100	(258) Md 101	(259) No 102	(260) Lr 103