

Analytische Chemie

B. Sc. Chemieingenieurwesen

4. Juli 2020, 15 bis 18 Uhr

Dr. Stephanie Möller, Prof. Dr. Thomas Jüstel

Name: _____

Matrikelnummer: _____

Geburtsdatum: _____

Sowohl der Lösungsweg als auch die Endergebnisse sind korrekt und nachvollziehbar anzugeben. Versehen Sie alle Größen mit SI-Einheiten. Bei Grafiken sind die Achsen ordnungsgemäß zu beschriften. Richten Sie alle Reaktionsgleichungen vollständig mit ganzzahligen Koeffizienten ein. Sofern bei einer Reaktion charakteristische Beobachtungen (Farbe, Niederschlag, Gasentwicklung, usw.) typisch sind, sollen diese kurz beschrieben werden. Bitte verwenden Sie für die Lösung nur diese Aufgabenblätter (notfalls auch die Rückseite)!

Dauer der Prüfung: 180 Minuten

Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner
Formelsammlung und Periodensystem (im Anhang)

Punkteverteilung

Aufgabe 1: 20 Punkte
Aufgabe 2: 20 Punkte
Aufgabe 3: 10 Punkte
Aufgabe 4: 10 Punkte
Aufgabe 5: 10 Punkte
Aufgabe 6: 10 Punkte
Aufgabe 7: 10 Punkte
Aufgabe 8: 10 Punkte

Notenskala

1,0	95 – 100 Punkte
1,3	90 – 94 Punkte
1,7	85 – 89 Punkte
2,0	80 – 84 Punkte
2,3	75 – 79 Punkte
2,7	70 – 74 Punkte
3,0	65 – 69 Punkte
3,3	60 – 64 Punkte
3,7	55 – 59 Punkte
4,0	50 – 54 Punkte
5,0	0 – 49 Punkte

Viel Erfolg!

Aufgabe 1: Löslichkeit, Löslichkeitsprodukt und Stöchiometrie**20 Punkte**

- a) Stellen Sie die Gleichung für das Lösungsgleichgewicht eines Salzes der allgemeinen Zusammensetzung A_3B_4 auf! Wie lautet die Gleichung für K_L und welche Einheit hat K_L ? Wie wird der pK_L -Wert berechnet? (4 Punkte)
- b) In 80 ml Wasser lösen sich 4,99 μg (Mikrogramm) Cadmiumphosphat. Wie groß sind das Löslichkeitsprodukt und der pK_L -Wert? (4 Punkte)
Ergibt eine Lösung von Cadmiumhydroxid (Löslichkeit 27 mg/l) bezogen auf die Konzentration an aquatisierten Cadmiumkationen in mol/l eine höher oder niedriger konzentrierte Lösung? (3 Punkte)
- c) Vervollständigen Sie folgende Tabelle zur Löslichkeit von Salzen, indem Sie für jedes Salz ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, CaSO_4 , Na_2SO_4 , $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ und FeSO_4 analog zum NaNO_3 in das jeweilige Feld der Tabelle für schwerlösliche Verbindungen ein S und für leichtlösliche Verbindungen ein L eintragen! (5 Punkte)

	Ca^{2+}	NH_4^+	Fe^{2+}
NO_3^-		L	
SO_4^{2-}			

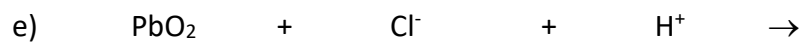
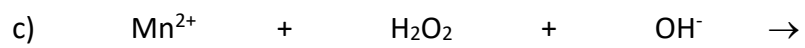
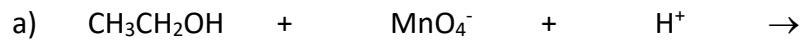
- d) Wie groß ist der Massenanteil eines Minerals an Magnesium in %, wenn die Einwaage $m(\text{Mineral}) = 1,1400 \text{ g}$ und die Auswaage $m(\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7) = 1,1996 \text{ g}$ beträgt? (4 Punkte)

Aufgabe 2: Redoxreaktionen

20 Punkte

Vervollständigen Sie die folgenden Redoxgleichungen!

(je 4 Punkte)



Aufgabe 3: Puffersysteme

10 Punkte

- a) Welche Masse (in g) an Natriumacetat müssen Sie zu 250 ml einer zweimolaren Essigsäure geben, um einen Puffer mit dem pH-Wert 4,9 herzustellen?
($pK_s(\text{Essigsäure}) = 4,75$; Volumeneffekte sind zu vernachlässigen) (4 Punkte)
- b) Erläutern Sie anhand von Reaktionsgleichungen, ob sich die Lösungen von NaCl, CH_3COONa und NH_4Cl sauer, neutral oder alkalisch verhalten! (6 Punkte)

Aufgabe 4: Gravimetrie

10 Punkte

- a) Erläutern Sie den Begriff ‚homogene Präzipitation‘! Wie können Sie Sulfid- und wie Hydroxidationen homogen in Lösung erzeugen? Geben Sie jeweils ein Beispiel inklusive Reaktionsgleichungen an! (5 Punkte)
- b) Nennen und erläutern Sie drei Mitreißeffekte! (3 Punkte)
- c) Wie können Mitreißeffekte verhindert werden? Nennen Sie zwei Maßnahmen, die zusätzlich zur homogenen Präzipitation angewendet werden können! (2 Punkte)

Aufgabe 5: Volumetrie**10 Punkte**

Bitte ergänzen Sie die entsprechenden Informationen in den Lücken!

Sie werden aufgefordert, den Gehalt einer Salzsäure mit einer Konzentration von ca. 0,1 mol/l mithilfe einer Natriumhydroxid-Lösung zu bestimmen. Diese Natriumhydroxidlösung können Sie nicht direkt herstellen, weil Natriumhydroxid nicht wägestabil und deshalb keine ist. Eine Einwaage von g Natriumhydroxid auf 1 Liter Wasser ergibt eine Konzentration von etwa 0,1 mol/l. Für die exakte Bestimmung der Konzentration der Natronlauge und die Ermittlung des muss daher zum Beispiel auf Benzoesäure zurückgegriffen werden. Unter der Annahme, dass eine Bürette mit dem Volumen von 20 ml zur Verfügung steht und der Umschlag bei 15 ml erfolgen soll, müssen je Erlenmeyerkolben etwa mg Benzoesäure* auf der Analysenwaage eingewogen werden. Als Indikator kann z. B. Phenolphthalein verwendet werden.

Die Tabelle zeigt Soll- und Istverbräuche für eine Dreifachbestimmung. Geben Sie die Formel zur Ermittlung des Korrekturfaktors an und ermitteln Sie diesen!

Formel:

V(soll) in ml	V(ist) in ml	Korrekturfaktor	Mittelwert
14,95	15,02		
14,90	14,95		
15,05	15,15		

Der ermittelte Korrekturfaktor ist als 1. Dies bedeutet, dass die tatsächliche Konzentration der Natronlauge als die Nenn- bzw. Sollkonzentration ist.

**Falls Sie die exakte molare Masse von Benzoesäure nicht ermitteln können, nutzen Sie bitte 120 g/mol für die Berechnung der Einwaage.*

Aufgabe 6: Einzelnachweise

10 Punkte

Geben Sie eine vollständige Nachweisreaktion inklusive der typischen Beobachtung (Niederschlag, Farbe, Gasentwicklung, usw.) für die folgenden Ionen an!

(jeweils 2 Punkte)

- a) Titan(IV)-Kation

- b) Blei(II)-Kation

- c) Borat-Anion

- d) Kalium-Kation

- e) Mangan(II)-Kation

Aufgabe 7: Kationennachweise

10 Punkte

Eine Lösung enthält die Ionen Hg_2^{2+} , Cu^{2+} , Ca^{2+} und Sr^{2+} .

Erläutern Sie mithilfe des Kationentrennungsgangs, wie diese Ionen voneinander separiert werden können! Geben Sie für alle vier Kationen jeweils eine Nachweisreaktion mit der entsprechenden Reaktionsgleichung an. (10 Punkte)

Aufgabe 8: Bestimmung einer unbekanntes Substanz

10 Punkte

- a) Um welche Verbindung (Name + Formel) handelt es sich bei einer unbekanntes Substanz, für welche die untenstehenden Befunde notiert wurden? (2 Punkte)
- b) Geben Sie jeweils die Reaktionsgleichungen zur Erklärung der unten bestehenden Befunde an! (je 2 Punkte)

Befunde:

1. Eine Probe der erhaltenen Substanz ist in Wasser löslich. Unter Zugabe einiger Tropfen Salzsäure bildet sich ein weißer Niederschlag, der beim Erhitzen verschwindet. Wird diese Lösung in Eiswasser abgekühlt, entsteht wieder ein weißer Niederschlag.
2. Beim Einleiten von Schwefelwasserstoff in das salzsaure Filtrat von (1) entsteht eine schwarze Trübung.
3. Wird die essigsäure Lösung der Ursbstanz mit Kaliumchromat-Lösung versetzt, bildet sich ein schwerlöslicher, gelber Niederschlag.
4. Verreibt man die Ursbstanz mit Kaliumhydrogensulfat, nimmt man einen stechenden Geruch wahr.

Formeln und Konstanten

Formeln:

Energie: $E = m \cdot c^2 = h \cdot \nu$

Allgemeine Gasgleichung: $pV = nRT$

Ionenladungsdichte: $ILD = \frac{z \cdot e}{\frac{4}{3}\pi \cdot r^3}$ z Ladungszahl des Ions

Gleichgewichtskonstante: $K = \frac{c^c(C) \cdot c^d(D)}{c^a(A) \cdot c^b(B)}$ $a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$

Dichte: $\rho = \frac{m}{V}$

Molare Masse: $M = \frac{m}{n}$

Stoffmengenkonzentration: $c = \frac{n}{V}$

Massenkonzentration: $\beta = \frac{m}{V}$

Massenanteil: $w = \frac{a \cdot F}{e} \cdot 100 \%$

Titerfaktor: $t = F = \frac{c_{ist}}{c_{soll}}$

Stöchiometrischer Faktor: $F = \frac{M(\text{Analyt})}{M(\text{Wägeprodukt})}$ (auch gravimetrischer Faktor)

Ionenprodukt des Wassers: $c(H^+) \cdot c(OH^-) = 10^{-14} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^2 \Leftrightarrow pH + pOH = 14$

pH-Wert: $pH = -\log(c(H^+))$

pOH-Wert: $pH = -\log(c(OH^-))$

pH-Werte von Säuren: $pH = -\log(c_0(HA) + 10^{-7})$ sehr stark mit $pK_s < -1,74$

$$pH = -\log\left(-\frac{K_s}{2} + \sqrt{\frac{K_s^2}{4} + K_s \cdot c_0(HA)}\right)$$
 stark mit $-1,74 < pK_s < 4,5$

$$pH = \frac{1}{2}(pK_s - \log(c_0(HA)))$$
 mittelstark mit $4,5 < pK_s < 9,5$

$$pH = -\frac{1}{2} \cdot \log(K_s \cdot c_0(HA) + K_w)$$
 (sehr) schwach mit $pK_s > 9,5$

Henderson-Hasselbalch-Gleichung $pH = pK_s + \log \frac{c(A^-)}{c(HA)}$

Konstanten:

Avogadro-Konstante: $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Elementarladung: $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Faraday-Konstante: $F = 96.485 \frac{\text{C}}{\text{mol}}$

Ionenprodukt des Wassers: $K_W = 10^{-14} \frac{\text{mol}^2}{\text{l}^2}$

Lichtgeschwindigkeit: $c = 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Molares Volumen eines idealen Gases: $V_m = 22,4 \frac{\text{l}}{\text{mol}}$ (bei Normbedingungen)

Universelle Gaskonstante: $R = 8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

pK_S- und pK_B-Werte ausgewählter Säuren und Basen

	Name	Säure	Base + H ⁺	pK _S	pK _B
Sehr starke Säuren	Perchlorsäure	HClO ₄	ClO ₄ ⁻	≈ -10	≈ 24
	Bromwasserstoff	HBr	Br ⁻	≈ -9	≈ 23
	Chlorwasserstoff	HCl	Cl ⁻	≈ -6	≈ 20
	Schwefelsäure	H ₂ SO ₄	HSO ₄ ⁻	≈ -3	≈ 17
	Hydronium-Ion	H ₃ O ⁺	H ₂ O	-1,74	15,74
Starke Säuren	Salpetersäure	HNO ₃	NO ₃ ⁻	-1,32	15,32
	Hydrogensulfat-Ion	HSO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	1,92	12,08
	Phosphorsäure	H ₃ PO ₄	H ₂ PO ₄ ⁻	1,96	12,04
Mittelstarke Säuren	Essigsäure	CH ₃ COOH	CH ₃ COO ⁻	4,75	9,25
	Schwefelwasserstoff	H ₂ S	HS ⁻	6,92	7,08
	Ammonium-Ion	NH ₄ ⁺	NH ₃	9,25	4,75
Schwache Säuren	Hydrogencarbonat-Ion	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	10,40	3,6
	Hydrogenphosphat-Ion	HPO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	12,32	1,68
	Hydrogensulfid-Ion	HS ⁻	S ²⁻	12,90	1,10
Sehr schwache Säuren	Wasser	H ₂ O	OH ⁻	15,74	-1,74
	Hydroxid-Ion	OH ⁻	O ²⁻	≈ 24	≈ -10
	Wasserstoff	H ₂	H ⁻	≈ 40	≈ -26

Säure-Base-Indikatoren (///// Umschlagbereich)

Kresolrot	rot	/////	gelb	/////	violett
Methylorange	rot	/////	gelb		
Bromkresolgrün	gelb	/////	blau		
Methylrot	rot	/////	gelb		
Lackmus	rot	/////	blau		
Bromkresolpurpur	gelb	/////	violett		
p-Nitrophenol	farblos	/////	gelb		
Bromthymolblau	gelb	/////	blau		
Phenolphthalein	farblos	/////	violett		
Thymolphthalein	farblos	/////	blau		
Alizarinengelb R	gelb	/////	rot		

pH 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

Periodensystem der Elemente

<http://www.pse-online.de>

Benennung mit Haupt- und Nebengruppen
IUPAC – Empfehlung
Von Chemical Abstracts Service bis 1986 verwendet

1											18						
1. Hg IA											8. Hg VIIIA						
1,00794 1s ¹ 1 H -259 -253 Wasserstoff											4,002602 1s ² 2 He -272 -269 Helium						
6,941 [He]2s ¹ 3 Li 181 1317 Lithium	9,012182 [He]2s ² 4 Be 1278 2970 Beryllium											20,1797 [He]2s ² 2p ⁶ 10 Ne -249 -246 Neon					
22,989770 [Ne]3s ¹ 11 Na 98 892 Natrium	24,3050 [Ne]3s ² 12 Mg 649 1107 Magnesium											39,948 [Ne]3s ² 3p ⁶ 18 Ar -189 -186 Argon					
39,0983 [Ar]4s ¹ 19 K 64 774 Kalium	40,078 [Ar]4s ² 20 Ca 839 1487 Calcium	44,955910 [Ar] 3d ¹ 4s ² 21 Sc 1539 2832 Scandium	47,867 [Ar] 3d ² 4s ² 22 Ti 1660 3260 Titan	50,9415 [Ar] 3d ³ 4s ² 23 V 1890 3680 Vanadium	51,9961 [Ar]3d ⁴ s ¹ 24 Cr 1857 2482 Chrom	54,938049 [Ar]3d ⁵ s ¹ 25 Mn 1857 2750 Mangan	55,845 [Ar]3d ⁶ 4s ² 26 Fe 1535 2732 Eisen	58,93320 [Ar]3d ⁶ 4s ² 27 Co 1495 2870 Cobalt	58,93320 [Ar] 3d ⁷ 4s ² 28 Ni 1453 2732 Nickel	63,546 [Ar] 3d ⁸ 4s ¹ 29 Cu 1084 2595 Kupfer	65,39 [Ar]3d ¹⁰ 4s ¹ 30 Zn 420 907 Zink	69,723 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹ 31 Ga 30 2403 Gallium	72,61 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ² 32 Ge 937 2830 Germanium	74,92160 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³ 33 As 613(subl.) 280 Arsen	78,96 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴ 34 Se 217 685 Selen	79,904 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵ 35 Br 208 817 Brom	83,80 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶ 36 Kr -157 -152 Krypton
85,4678 [Kr]5s ¹ 37 Rb 39 688 Rubidium	87,62 [Kr]5s ² 38 Sr 769 1384 Strontium	88,90585 [Kr]4d ¹ 5s ² 39 Y 1523 3337 Yttrium	91,224 [Kr]4d ² 5s ² 40 Zr 1852 4377 Zirkonium	92,90638 [Kr]4d ³ 5s ¹ 41 Nb 2150 5425 Niobium	95,94 [Kr]4d ⁴ 5s ¹ 42 Mo 2468 4927 Molybdän	[98] [Kr]4d ⁵ 5s ¹ 43 Tc 2172 5600 Technetium	101,07 [Kr]4d ⁵ 5s ¹ 44 Ru 2310 5030 Ruthenium	102,90550 [Kr]4d ⁶ 5s ¹ 45 Rh 1966 3727 Rhodium	106,42 [Kr]4d ⁸ 46 Pd 1552 3140 Palladium	107,8682 [Kr]4d ⁹ 5s ¹ 47 Ag 962 2100 Silber	112,411 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 48 Cd 321 765 Cadmium	114,818 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹ 49 In 157 2080 Indium	118,710 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ² 50 Sn 232 582 Zinn	121,760 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ³ 51 Sb 631 1750 Antimon	127,60 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴ 52 Te 86 990 Tellur	126,90447 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵ 53 I 114 184 Iod	131,29 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶ 54 Xe -112 -107 Xenon
132,90545 [Xe]6s ¹ 55 Cs 28 690 Cäsium	137,327 [Xe]6s ² 56 Ba 725 1640 Barium	57 – 71 Lanthanoide	178,49 [Xe]4f ¹⁴ 5d ² 6s ² 72 Hf 2150 5400 Hafnium	180,9479 [Xe]4f ¹⁴ 5d ³ 6s ² 73 Ta 2296 5425 Tantal	183,84 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ² 74 W 3407 5927 Wolfram	186,207 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ² 75 Re 3180 5627 Rhenium	190,23 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ² 76 Os 3045 5627 Osmium	192,217 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ² 77 Ru 2410 4130 Ruthenium	195,078 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁸ 6s ¹ 78 Pt 1772 3827 Platin	196,96655 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹ 79 Au 1064 2940 Gold	200,59 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹ 80 Hg -39 357 Quecksilber	204,3833 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹ 81 Tl 304 1457 Thallium	207,2 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ² 82 Pb 328 1740 Blei	208,98038 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³ 83 Bi 271 1560 Bismut	[209] [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴ 84 Po 210 837 Polonium	[210] [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵ 85 At 302 337 Astat	[222] [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶ 86 Rn -71 -62 Radon
[223] [Rn]7s ¹ 87 Fr 27 677 Francium	[226] [Rn]7s ² 88 Ra 700 1140 Radium	89 – 103 Actinoide	[261] [Rn]5f ¹⁴ 6d ² 7s ² 104 Rf 1132 3818 Rutherfordium	[262] [Rn]5f ¹⁴ 6d ³ 7s ² 105 Db 1132 3818 Dubnium	[263] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ² 106 Sg 1132 3818 Seaborgium	[264] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ² 107 Bh 1132 3818 Bohrium	[265] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ² 108 Hs 1132 3818 Hassium	[266] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ² 109 Mt 1132 3818 Meitnerium	[269] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁸ 7s ¹ 110 Ds 1132 3818 Darmstadtium	[272] [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ¹ 111 Uuu 1132 3818 Unununium	112 Uub Ununbium ¹	113 Uut Ununtrium ¹	114 Uuq Ununquadium ¹	115 Uup Ununpentium ¹	116 Uuh Ununhexium ¹	117 Uus Ununseptium ¹	118 Uuo Ununoctium ¹

Relative Atommasse [Massenzahl des leichtesten Isotops]

Ordnungszahl

Künstliches Element

Elementensymbol

Elektronenkonfiguration

Oxidationszahlen (häufigste)

Elektronegativität

Erste Ionisierungsenergie [eV]

Schmelzpunkt [°C]

Siedepunkt [°C]

Elementname

Americium

Elementsymbol:

Tc = kein stabiles Isotop bekannt

N = gasförmig

Br = flüssig (bei 20 °C)

Am = fest

¹Die Elemente mit den Ordnungszahlen 112 – 118 wurden noch nicht synthetisiert bzw. von der IUPAC offiziell anerkannt!

© 1999-2003
by Lars Röglin
lars@pse-online.de
<http://www.pse-online.de>

138,9055 [Xe]5d ¹ 6s ² 57 La 920 3454 Lanthan	140,116 [Xe]4f ¹ 6s ² 58 Ce 798 3257 Cer	140,90765 [Xe]4f ² 6s ² 59 Pr 931 3212 Praseodym	144,24 [Xe]4f ² 6s ² 60 Nd 1010 3127 Neodym	[145] [Xe]4f ³ 6s ² 61 Pm 1080 2730 Promethium	150,36 [Xe]4f ³ 6s ² 62 Sm 1072 1778 Samarium	151,964 [Xe]4f ⁶ 6s ² 63 Eu 822 1597 Europium	157,25 [Xe]4f ⁷ 5d ¹ 6s ² 64 Gd 1311 3233 Gadolinium	158,92534 [Xe]4f ⁷ 6s ² 65 Tb 1360 3041 Terbium	162,50 [Xe]4f ⁹ 6s ² 66 Dy 1406 2335 Dysprosium	164,93032 [Xe]4f ¹⁰ 6s ² 67 Ho 1470 2720 Holmium	167,26 [Xe]4f ¹¹ 6s ² 68 Er 1522 2510 Erbium	168,93421 [Xe]4f ¹² 6s ² 69 Tm 1545 1727 Thulium	173,04 [Xe]4f ¹³ 6s ² 70 Yb 824 1193 Ytterbium	174,967 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ² 71 Lu 1656 3315 Lutetium
[227] [Rn]6d ¹ 7s ² 89 Ac 1047 3197 Actinium	[232] [Rn]6d ² 7s ² 90 Th 1750 4787 Thorium	[231] [Rn]5f ⁶ 6d ¹ 7s ² 91 Pa 1554 4030 Protactinium	[238] [Rn]5f ⁶ 6d ¹ 7s ² 92 U 1132 3818 Uran	[237] [Rn]5f ⁶ 6d ² 7s ² 93 Np 640 3902 Neptunium	[244] [Rn]5f ⁷ 7s ² 94 Pu 641 3327 Plutonium	[243] [Rn]5f ⁷ 7s ² 95 Am 1,2 2,994 Americium	[247] [Rn]5f ⁷ 6d ¹ 7s ² 96 Cm 6,0 2607 Curium	[247] [Rn]5f ⁷ 7s ² 97 Bk 9,8 986 Berkelium	[251] [Rn]5f ⁷ 7s ² 98 Cf 1,2 900 Californium	[252] [Rn]5f ¹¹ 7s ² 99 Es ~1,2 860 Einsteinium	[257] [Rn]5f ¹² 7s ² 100 Fm ~1,2 860 Fermium	[258] [Rn]5f ¹³ 7s ² 101 Md ~1,2 860 Mendelevium	[259] [Rn]5f ¹⁴ 7s ² 102 No ~1,2 860 Nobelium	[262] [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ² 103 Lr ~1,2 860 Lawrencium