

Analytische Chemie

B. Sc. Chemieingenieurwesen

2. Juli 2019, 10.30 – 13.30 Uhr

Dr. Stephanie Möller, Prof. Dr. Thomas Jüstel

Name: _____

Matrikelnummer: _____

Geburtsdatum: _____

Denken Sie an eine korrekte Angabe des Lösungsweges und der Endergebnisse. 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: Periodensystem, nicht-programmierbarer Taschenrechner, beiliegende Formelsammlung

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**

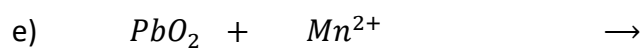
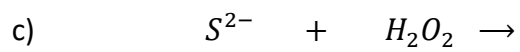
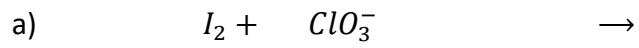
- a) Stellen Sie die Gleichung für das Lösungsgleichgewicht eines Salzes der allgemeinen Zusammensetzung A_2B auf! Wie lautet die Gleichung für K_L und welche Einheit hat K_L ? Wie wird der pK_L -Wert berechnet? (4 Punkte)
- b) Der pK_L -Wert von Quecksilber(II)-sulfid beträgt 54. Reichen die gesamten Wasservorräte auf der Erde ($V = 1,4 \cdot 10^9 \text{ km}^3$) aus, um 0,5 mg HgS zu lösen? (4 Punkte)
Die pK_L -Werte von Silbersulfid und Antimon(III)-sulfid liegen bei 59 bzw. 72. Sortieren Sie die drei Sulfide Quecksilber(II)-sulfid, Silbersulfid und Antimon(III)-sulfid nach ihrer Löslichkeit in Wasser? Erläutern Sie Ihr Vorgehen! (4 Punkte)
- c) Vervollständigen Sie folgende Tabelle zur Löslichkeit von Salzen, indem Sie für jedes Salz ($MnCl_2$, $MnSO_4$, Na_2SO_4 , $PbCl_2$ und $PbSO_4$) analog zum NaCl in das jeweilige Feld der Tabelle für schwerlösliche Verbindungen ein S und für leichtlösliche Verbindungen ein L eintragen! (5 Punkte)

	Mn^{2+}	Na^+	Pb^{2+}
Cl^-		L	
SO_4^{2-}			

- d) Welches Volumen (in ml) einer konzentrierten 70 %-igen Salpetersäure mit einer Dichte von 1,42 kg/l benötigt man zur Herstellung von 350 ml einer verdünnten 1,5-molaren Salpetersäure? (3 Punkte)

Aufgabe 2: Redoxreaktionen**20 Punkte**

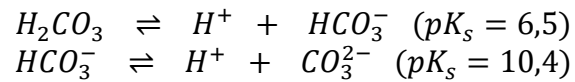
Vervollständigen Sie die folgenden Redoxgleichungen, wobei (a), (b) und (e) im Sauren, (c) im Neutralen und (d) im Basischen ablaufen! (je 4 Punkte)



Aufgabe 3: Puffersysteme

10 Punkte

- a) Eine Lösung A (V = 250 ml) enthält 3,4 g gelöstes Natriumcarbonat; eine Lösung B (V = 200 ml) enthält 1,9 g gelöstes Natriumhydrogencarbonat. Welchen pH-Wert hat eine wässrige Lösung, die durch Vereinigen der beiden Lösungen A und B entsteht? Wählen Sie den für diesen Puffer passenden pK_s -Wert für die Berechnung! (4 Punkte)

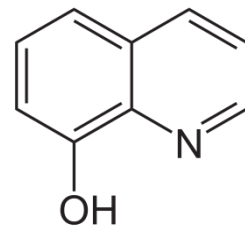


- b) Definieren Sie die Begriffe Säure und Base mit Hilfe der Brönstedt-Theorie! Erläutern Sie vor diesem Hintergrund auch unter Einbeziehung entsprechender Reaktionsgleichungen, warum Salze einer schwachen Säure basisch und Salze einer schwachen Base sauer reagieren! (6 Punkte)

Aufgabe 4: Gravimetrie

10 Punkte

- a) Nennen Sie zwei Kationen, die sich als Sulfid nur aus leicht alkalischen Lösungen fällen lassen und geben Sie die Formeln der entsprechenden Fällungsprodukte an! Erläutern Sie, warum die Fällung dieser Kationen aus sauren Lösungen nicht gelingt! (Kleiner Tipp: Denken Sie an den Trennungsgang!) (5 Punkte)
- b) Welches Reagenz (Name und Formel) kann zur Fällung von Hydroxiden aus homogener Lösung eingesetzt werden? Geben Sie die entsprechenden Reaktionsgleichungen an! (2 Punkte)
- c) Rechts sehen Sie die Strukturformel von 8-Hydroxychinolin. Begründen Sie, warum diese Verbindung einen isoelektrischen Punkt hat, wodurch dieser definiert ist und welche Bedeutung er für diese Verbindung in der Gravimetrie hat? (3 Punkte)



Aufgabe 5: Volumetrie

10 Punkte

- a) Skizzieren Sie die Titrationskurve für die Titration einer sehr starken, einbasigen Säure mit einer mittelstarken, einsäurigen Base! Markieren Sie den Äquivalenz- und den Neutralpunkt! Wie ist der Äquivalenz- und wie der Neutralpunkt für diesen Fall definiert?
(6 Punkte)
- b) Welchen Einfluss hätte eine Erhöhung der Basenstärke auf den Äquivalenz- und auf den Neutralpunkt bezogen auf die Titration in Aufgabenteil a? Erläutern Sie in diesem Zusammenhang auch die Auswirkungen auf die Indizierung des Äquivalenzpunktes und die Indikatoreauswahl!
(4 Punkte)

Aufgabe 6: Anionennachweise

10 Punkte

- a) Was versteht man unter dem Sodauszug und welcher Zweck wird damit verfolgt? Welches Reagenz wird dafür benutzt und warum? Geben Sie eine beispielhafte Reaktionsgleichung an! (3 Punkte)

- b) Welchen Schluss ziehen Sie aus folgenden Beobachtungen? Begründen Sie! (je 2 Punkt)

[1] Das stark schwefelsaure Filtrat des Sodauszugs wird tropfenweise mit Kaliumpermanganat-Lösung versetzt und eine Entfärbung beobachtet.

[2] Das stark salzsaure Filtrat des Sodauszugs wird tropfenweise mit Kaliumiodid/Stärke Lösung versetzt und eine Blaufärbung beobachtet.

[3] Das stark salpetersaure, gelbe Filtrat des Sodauszugs wird tropfenweise mit Silbernitrat-Lösung versetzt und ein orange-roter Niederschlag beobachtet.

Aufgabe 7: Kationennachweise

10 Punkte

Eine Lösung enthält die Ionen Pb^{2+} , Fe^{2+} , Cr^{3+} und Ba^{2+} .

Erläutern Sie mithilfe des Kationentrennungsgangs, wie diese Ionen voneinander separiert werden können! (6 Punkte)

Geben Sie für alle vier Kationen jeweils eine Nachweisreaktion mit der entsprechenden Reaktionsgleichung an. (4 Punkte)

Aufgabe 8: Bestimmung einer unbekanntes Substanz

10 Punkte

a) Um welche Verbindung handelt es sich bei einer unbekanntes, in Wasser löslichen Substanz, für welche die unten stehenden Befunde notiert wurden? (2 Punkte)

b) Geben Sie jeweils die Reaktionsgleichungen zur Erklärung der unten bestehenden Befunde an! (je 2 Punkte)

Befunde:

1. Nach Ansäuern und Zugabe von Ammoniumperoxodisulfatlösung färbt sich die Lösung violett.
2. Wird eine wässrige Lösung der gesuchten Substanz mit Wasserstoffperoxid versetzt und alkalisch gestellt, bildet sich ein schwarzbrauner Niederschlag.
3. Wird in eine angesäuerte Lösung Schwefelwasserstoff eingeleitet, bleibt eine Reaktion aus. Erfolgt die Einleitung von Schwefelwasserstoff in eine ammoniakalisch gestellte Lösung, bildet sich ein fleischfarbener Niederschlag.
4. Wird die schwefelsaure Lösung der Substanz mit einigen Körnchen FeSO_4 versetzt und anschließend mit konz. H_2SO_4 unterschichtet, bildet sich ein brauner Ring.

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 ^{-k}	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
1. Hg IA

2
2. Hg IIA

3
3. Ng IIIB

4
4. Ng IVB

5
5. Ng VB

6
6. Ng VIB

7
7. Ng VIIB

8
8. Ng VIII

9
8. Ng VIII

10
8. Ng VIII

11
1. Ng IB

12
2. Ng IIA

Relative Atommasse [Massenzahl des leichtesten Isotops]

Ordnungszahl

Schmelzpunkt [°C]

Siedepunkt [°C]

Elementname

Künstliches Element

Elektronenkonfiguration

Elementsymbol

Oxidationszahlen (häufigste)

Elektronegativität

Erste Ionisierungsenergie [eV]

13
3. Hg IIIA

14
4. Hg IVA

15
5. Hg VA

16
6. Hg VIA

17
7. Hg VIIA

18
8. Hg VIIIA

1	1,00794 1s ¹ 1H -259 -253 Wasserstoff	2	2,01584 [He]2s ² 2He -272 -269 Helium	3	6,941 [He]2s ² 1s ¹ 3Li 181 1317 Lithium	4	9,012182 [He]2s ² 4Be 1278 2970 Beryllium	5	22,989770 [Ne]3s ¹ 11Na 98 892 Natrium	6	24,3050 [Ne]3s ² 12Mg 649 1107 Magnesium	7	39,0983 [Ar]4s ¹ 19K 64 774 Kalium	8	40,078 [Ar]4s ² 20Ca 839 1487 Calcium	9	44,955910 [Ar]3d ⁴ 4s ² 21Sc 1539 2832 Scandium	10	47,867 [Ar]3d ⁴ 4s ² 22Ti 1660 3260 Titan	11	50,9415 [Ar]3d ⁴ 4s ² 23V 1890 3380 Vanadium	12	51,9961 [Ar]3d ⁴ 4s ¹ 24Cr 1857 2482 Chrom	13	54,938049 [Ar]3d ⁵ 4s ¹ 25Mn 1244 2097 Mangan	14	55,845 [Ar]3d ⁵ 4s ² 26Fe 1535 2750 Eisen	15	58,93320 [Ar]3d ⁶ 4s ² 27Co 1495 2870 Cobalt	16	58,6934 [Ar]3d ⁶ 4s ² 28Ni 1453 2732 Nickel	17	63,546 [Ar]3d ⁹ 4s ¹ 29Cu 1084 2595 Kupfer	18	65,39 [Ar]3d ¹⁰ 4s ¹ 30Zn 420 907 Zink	19	69,723 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹ 31Ga 30 2403 Gallium	20	72,61 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ² 32Ge 937 2830 Germanium	21	74,92160 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³ 33As 613(subl.) 280 79 Arsen	22	78,96 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴ 34Se 217 985 Selen	23	79,904 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵ 35Br 217 59 Brom	24	83,80 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶ 36Kr 157 152 Krypton
5	85,4678 [Kr]5s ¹ 37Rb 39 688 Rubidium	87,62 [Kr]5s ² 38Sr 769 1384 Strontium	88,90585 [Kr]4d ⁵ 5s ² 39Y 1523 3337 Yttrium	91,224 [Kr]4d ⁵ 5s ² 40Zr 1852 4377 Zirkonium	92,90638 [Kr]4d ⁵ 5s ¹ 41Nb 2468 4927 Niobium	95,94 [Kr]4d ⁵ 5s ¹ 42Mo 2617 5560 Molybdän	[98] [Kr]4d ⁶ 5s ¹ 43Tc 2172 5030 Technetium	101,07 [Kr]4d ⁶ 5s ¹ 44Ru 3180 5627 Ruthenium	102,90550 [Kr]4d ⁶ 5s ¹ 45Rh 2410 4130 Rhodium	106,42 [Kr]4d ⁸ 46Pd 1772 3827 Palladium	107,8682 [Kr]4d ⁸ 5s ¹ 47Ag 1064 2940 Silber	112,411 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 48Cd 321 765 Cadmium	114,818 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹ 49In 157 2080 Indium	118,710 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ² 50Sn 58 2270 Zinn	121,760 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ³ 51Sb 631 1750 Antimon	127,60 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴ 52Te 86 990 Tellur	126,90447 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵ 53I 114 184 Iod	131,29 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶ 54Xe 112 107 Xenon																													
6	132,90545 [Xe]6s ¹ 55Cs 28 690 Cäsium	137,327 [Xe]6s ² 56Ba 725 1640 Barium	57 – 71 Lanthanoide	178,49 [Xe]4f ¹⁴ 5d ² 6s ² 72Hf 2150 5400 Hafnium	180,9479 [Xe]4f ¹⁴ 5d ² 6s ² 73Ta 2996 5425 Tantal	183,84 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ² 74W 3407 5927 Wolfram	186,207 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ² 75Re 3180 5627 Rhenium	190,23 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ² 76Os 3045 5627 Osmium	192,217 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ² 77Ir 2410 4130 Iridium	195,078 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁸ 6s ¹ 78Pt 1772 3827 Platin	196,96655 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹ 79Au 1064 2940 Gold	200,59 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 80Hg 321 357 Quecksilber	204,3833 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹ 81Tl 304 1457 Thallium	207,2 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ² 82Pb 61 1740 Blei	208,98038 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³ 83Bi 271 1560 Bismut	[209] [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴ 84Po 254 962 Polonium	[210] [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵ 85At 302 337 Astat	[222] [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶ 86Rn 71 62 Radon																													
7	[223] [Rn]7s ¹ 87Fr 27 677 Francium	[226] [Rn]7s ² 88Ra 700 1140 Radium	89 – 103 Actinoide	[261] [Rn]5f ¹⁴ 6d ² 7s ² 104Rf 1132 3818 Rutherfordium	[262] [Rn]5f ¹⁴ 6d ³ 7s ² 105Db 1554 4030 Dubnium	[263] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ² 106Sg 1132 3818 Seaborgium	[264] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ² 107Bh 640 3902 Bohrium	[265] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ² 108Hs 641 3327 Hassium	[266] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ² 109Mt 692 1778 Meitnerium	[269] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁸ 7s ¹ 110Ds 822 1597 Darmstadtium	[272] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁹ 7s ¹ 111Uuu 1311 3233 Unununium	112Uub 1360 3041 Ununbium ¹	113Uut 1406 2335 Ununtrium ¹	114Uuq 1470 2720 Ununquadium ¹	115Uup 1522 2510 Ununpentium ¹	116Uuh 1545 1727 Ununhexium ¹	117Uus 1656 3315 Ununseptium ¹	118Uuo 1686 3315 Ununoctium ¹																													

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

6	138,9055 [Xe]5d ¹ 6s ² 57La 920 3454 Lanthan	140,116 [Xe]4f ¹ 6s ² 58Ce 798 3257 Cer	140,90765 [Xe]4f ¹ 6s ² 59Pr 931 3212 Praseodym	144,24 [Xe]4f ¹ 6s ² 60Nd 1010 3127 Neodym	[145] [Xe]4f ¹ 6s ² 61Pm 1080 2730 Promethium	150,36 [Xe]4f ¹ 6s ² 62Sm 1072 1778 Samarium	151,964 [Xe]4f ¹ 6s ² 63Eu 822 1597 Europium	157,25 [Xe]4f ¹ 5d ¹ 6s ² 64Gd 1311 3233 Gadolinium	158,92534 [Xe]4f ¹ 6s ² 65Tb 1360 3041 Terbium	162,50 [Xe]4f ¹ 6s ² 66Dy 1406 2335 Dysprosium	164,93032 [Xe]4f ¹ 6s ² 67Ho 1470 2720 Holmium	167,26 [Xe]4f ¹ 6s ² 68Er 1522 2510 Erbium	168,93421 [Xe]4f ¹ 6s ² 69Tm 1545 1727 Thulium	173,04 [Xe]4f ¹ 6s ² 70Yb 824 1193 Ytterbium	174,967 [Xe]4f ¹ 5d ¹ 6s ² 71Lu 1656 3315 Lutetium
7	[227] [Rn]6d ¹ 7s ² 89Ac 1047 3197 Actinium	[232] [Rn]6d ² 7s ² 90Th 1750 4787 Thorium	[231] [Rn]5f ¹ 6d ¹ 7s ² 91Pa 1554 4030 Protactinium	[238] [Rn]5f ¹ 6d ¹ 7s ² 92U 1132 3818 Uran	[237] [Rn]5f ¹ 6d ² 7s ² 93Np 640 3902 Neptunium	[244] [Rn]5f ¹ 7s ² 94Pu 641 3327 Plutonium	[243] [Rn]5f ¹ 7s ² 95Am 692 1778 Americium	[247] [Rn]5f ¹ 6d ¹ 7s ² 96Cm 822 1597 Curium	[247] [Rn]5f ¹ 7s ² 97Bk 986 2300 Berkelium	[251] [Rn]5f ¹ 7s ² 98Cf 1047 2720 Californium	[252] [Rn]5f ¹ 7s ² 99Es 1147 2923 Einsteinium	[257] [Rn]5f ¹ 7s ² 100Fm 1522 3818 Fermium	[258] [Rn]5f ¹ 7s ² 101Md 1656 3902 Mendelevium	[259] [Rn]5f ¹ 7s ² 102No 1686 4030 Nobelium	[262] [Rn]5f ¹ 6d ¹ 7s ² 103Lr 1686 4030 Lawrencium