

Anhang A

Elementhäufigkeiten

A.1 Elementhäufigkeiten im Sonnensystem

Tabelle A.1 gibt eine Zusammenstellung der Elementhäufigkeiten a_{el} in der Sonnenatmosphäre nach Asplund, Grevesse & Sauval [4]. Diese wurden durch eine Analyse geeigneter Absorptionslinien der Elemente bestimmt. Das gelingt aber nur für 63 der insgesamt 83 stabilen oder sehr langlebig radioaktiven Elemente. Für 20 Elemente sind auf diese Weise keine Häufigkeiten bestimmbar.

Seit dem Erscheinen der letzten Liste dieser Art (Grevesse & Sauval [6]), die noch häufig verwendet wird, mußten die Elementhäufigkeiten einiger Elemente revidiert werden. Die größten Änderungen betreffen die Häufigkeiten von Sauerstoff und Kohlenstoff in der Sonne, die nahezu halbiert werden mußten. Die Häufigkeiten von C und O sind nach Allende Prieto, Lambert & Asplund [1, 2] angegeben. Insgesamt ist die Metallizität Z des Sonnensystems nach den neuesten Häufigkeitsbestimmungen geringer als lange Zeit angenommen und stimmt nun besser mit der interstellaren Elementhäufigkeit überein.

Die Häufigkeiten sind als dekadische Logarithmen in der astrophysikalisch üblichen Konvention angegeben, nach der in dieser Skala Wasserstoff die Häufigkeit 12 erhält. Es gilt demnach für den Zusammenhang zwischen der Teilchendichten n_{el} der Kerne eines Elements, der Teilchendichte der Wasserstoffkerne n_{H} , und der Elementhäufigkeit

$$a_{\text{el}} = \log_{10} \frac{n_{\text{el}}}{n_{\text{H}}} + 12. \quad (\text{A.1})$$

Bei zwanzig Elementen können die Elementhäufigkeiten nicht aus dem Sonnenspektrum bestimmt werden, weil keine verwertbaren Linien vorhanden sind. Die entsprechenden Einträge in der Tabelle sind leer. Teils sind in diesen Fällen die Anregungsenergien der Atome oder Ionen für die Temperatur in der Sonnenatmosphäre zu hoch (z.B. bei Edelgasen), teils sind die Elementhäufigkeiten zu niedrig, sodaß alle Linien von schwachen Linien häufigerer Elemente überdeckt werden. In einigen dieser Fälle können Häufigkeiten aus Sonnenflecken,

Tabelle A.1.A.1: Elementhäufigkeiten a_{el} der chemischen Elemente im Sonnensystem, abgeleitet aus dem Sonnenspektrum und aus Meteoriten, und der Standardfehler der entsprechenden Häufigkeitsbestimmung. Werte in eckigen Klammern stammen aus anderen Messungen. Außerdem ist das mittlere Atomgewicht der Elemente angegeben.

Z	El	Meteoriten	Fehler	Sonne	Fehler	Atomgew.
1	H			12.00		1.00794
2	He			[10.93]	0.01	4.002602
3	Li	3.30	0.04	1.05	0.10	6.941
4	Be	1.41	0.04	1.38	0.09	9.012182
5	B	2.77	0.04	2.70	0.20	10.811
6	C	7.39	0.04	8.39	0.05	12.011
7	N	6.32	0.04	7.78	0.06	14.00674
8	O	8.43	0.04	8.66	0.05	15.9994
9	F	4.45	0.06	4.56	0.30	18.9984032
10	Ne			[8.08]	0.06	20.1797
11	Na	6.30	0.02	6.17	0.04	22.989770
12	Mg	7.56	0.01	7.53	0.09	24.3050
13	Al	6.46	0.01	6.37	0.06	26.981539
14	Si	7.55	0.01	7.51	0.04	28.0855
15	P	5.44	0.04	5.36	0.04	30.973761
16	S	7.19	0.04	7.14	0.05	32.066
17	Cl	5.26	0.06	5.50	0.30	35.4527
18	Ar			[6.56]	0.1	39.948
19	K	5.11	0.02	5.08	0.07	39.0983
20	Ca	6.33	0.01	6.31	0.04	40.078
21	Sc	3.08	0.01	3.05	0.08	44.955910
22	Ti	4.95	0.04	4.90	0.06	47.867
23	V	3.99	0.02	4.00	0.02	50.9415
24	Cr	5.67	0.01	5.64	0.10	51.9961
25	Mn	5.51	0.01	5.39	0.03	54.938049
26	Fe	7.49	0.01	7.45	0.05	55.845
27	Co	4.90	0.01	4.92	0.08	58.933200
28	Ni	6.23	0.02	6.23	0.04	58.6934
29	Cu	4.28	0.04	4.21	0.04	63.546
30	Zn	4.66	0.04	4.60	0.03	65.39
31	Ga	3.11	0.02	2.88	0.10	69.723
32	Ge	3.62	0.04	3.58	0.05	72.61
33	As	2.35	0.02			74.92160
34	Se	3.44	0.04			78.96
35	Br	2.61	0.04			79.904
36	Kr					83.80
37	Rb	2.40	0.04	2.60	0.15	85.4678
38	Sr	2.88	0.04	2.90	0.05	87.62
39	Y	2.23	0.04	2.21	0.02	88.905849
40	Zr	2.21	0.04	2.59	0.04	91.224
41	Nb	1.39	0.04	1.42	0.06	92.906376

Fortsetzung Tabelle A.1

Z	El	Meteoriten	Fehler	Sonne	Fehler	Atomgew.
42	Mo	1.95	0.04	1.92	0.05	95.94
43	Tc					
44	Ru	1.80	0.04	1.84	0.07	101.07
45	Rh	1.10	0.08	1.12	0.12	102.905504
46	Pd	1.68	0.04	1.69	0.04	106.42
47	Ag	1.23	0.04	0.94	0.24	107.8682
48	Cd	1.75	0.04	1.77	0.11	112.411
49	In	0.80	0.04	1.66	0.20	114.818
50	Sn	2.12	0.04	2.00	0.30	118.710
51	Sb	1.00	0.04	1.00	0.30	121.760
52	Te	2.22	0.04			127.60
53	J	1.50	0.08			126.904468
54	Xe					131.29
55	Cs	1.12	0.04			132.905447
56	Ba	2.21	0.04	2.17	0.07	137.327
57	La	1.21	0.02	1.13	0.05	138.9055
58	Ce	1.62	0.02	1.58	0.09	140.115
59	Pr	0.80	0.04	0.71	0.08	140.907648
60	Nd	1.48	0.02	1.45	0.05	144.24
61	Pm					
62	Sm	0.98	0.02	1.01	0.06	150.36
63	Eu	0.55	0.02	0.52	0.06	151.965
64	Gd	1.08	0.02	1.12	0.04	157.25
65	Tb	0.34	0.04	0.28	0.30	158.925343
66	Dy	1.16	0.02	1.14	0.08	162.50
67	Ho	0.50	0.04	0.51	0.10	164.930319
68	Er	0.96	0.02	0.93	0.06	167.26
69	Tm	0.15	0.04	0.00	0.15	168.934211
70	Yb	0.95	0.02	1.08	0.15	173.04
71	Lu	0.13	0.04	0.06	0.10	174.967
72	Hf	0.74	0.04	0.88	0.08	178.49
73	Ta	-0.14	0.06			180.9479
74	W	0.66	0.04	1.11	0.15	183.84
75	Re	0.29	0.04			186.207
76	Os	1.38	0.04	1.45	0.10	190.23
77	Ir	1.36	0.02	1.38	0.05	192.217
78	Pt	1.67	0.06			195.08
79	Au	0.84	0.02	1.01	0.15	196.966551
80	Hg	1.15	0.08			200.59
81	Tl	0.81	0.04	0.90	0.20	204.3833
82	Pb	2.05	0.04	2.00	0.06	207.2

Fortsetzung Tabelle A.1

Z	El	Meteoriten	Fehler	Sonne	Fehler	Atomgew.
83	Bi	0.69	0.04			208.980384
	Po					
	At					
	Rn					
	Fr					
	Ra					
	Ac					
90	Th	0.07	0.04			232.038050
92	U	-0.52	0.04			238.0289

der Sonnenkorona oder im Sonnenwind bestimmt werden; diese Häufigkeiten sind in eckigen Klammern angegeben.

Tabelle A.1 gibt weiterhin die Elementhäufigkeiten in Meteoriten nach Palme & Jones [8] an. Diese können für alle Elemente außer für die radioaktiven Elemente bestimmt werden. Die entsprechenden Einträge für letztere Elemente sind in der Tabelle leer. Für Wasserstoff und die Edelgase sind in der Tabelle ebenfalls keine Angaben gemacht. Diese können zwar bestimmt werden, wegen der großen Flüchtigkeit dieser Elemente sind diese aber bei der Entstehung der Mutterkörper der Meteoriten praktisch vollständig verloren gegangen und nur winzige Reste sind noch im Meteoritenmaterial enthalten.

Die Häufigkeiten in der Sonnenatmosphäre beziehen sich auf die heutigen Häufigkeiten der Elemente in den Oberflächenschichten der Sonne, während sich die Häufigkeiten in den Meteoriten auf die Häufigkeiten in der protoplanetaren Akkretionsscheibe in der Entstehungsphase des Sonnensystems beziehen. Bei zwei Elementen hat es seit der Entstehung des Sonnensystems Veränderungen gegeben.

- Lithium wurde bei der Entstehung der Sonne weitgehend verbrannt. Deswegen ist die Häufigkeit von Li in der Sonnenphotosphäre wesentlich kleiner als in Meteoriten.
- Die Heliumhäufigkeit hat sich durch Sedimentationsprozesse in den äußeren Sonnenschichten verringert. Die ursprüngliche Häufigkeit war höher. Ein Wert von

$$a_{\text{He}} = 10.99 \pm 0.02 \quad (\text{A.2})$$

ist für die ursprüngliche Häufigkeit anzusetzen (Grevesse & Sauval [6]).

Das muß bei Modellrechnungen berücksichtigt werden.

Bei Meteoriten sind die Häufigkeiten der leichtflüchtigen Elementen, vor allem C, N, und O, nicht für die Elementhäufigkeiten dieser Elemente bei der Entstehung des Sonnensystems repräsentativ, da ein großer Teil dieser flüchtigen Elemente nicht in die Mutterkörper der Meteoriten kondensierte.

Auch die Edelgase sind flüchtige Elemente und sind im meteoritischen Material stark unterrepräsentiert. Ihre Häufigkeiten, ausgenommen für He, können für die Sonne nicht genau genug bestimmt werden; sie eignen sich nicht für Vergleichszwecke.

Bei den übrigen Elementen treten deutliche Diskrepanzen zwischen den Häufigkeiten in der Sonnenatmosphäre und in Meteoriten für die Elemente Cl, Ga, Rb, Ag, In, Au und W auf. Deren Elementhäufigkeiten in der Sonnenatmosphäre sind wahrscheinlich durch unerkannte Überlagerung der zur Analyse verwendeten Linien durch Linien anderer Elemente verfälscht oder die atomaren Daten sind sehr ungenau. Auch diese Elemente eignen sich nicht für Vergleichszwecke.

Die Häufigkeiten aller anderen Elemente, das ist die große Mehrheit, können als repräsentativ für die Elementhäufigkeiten in der Milchstraße zum Zeitpunkt der Entstehung des Sonnensystems verwendet werden. Weitere Angabe finden sich in den neuen Reviews von Asplund, Grevesse, Sauval & Scott [5] und Lodders, Palme & Gail [7].

A.2 Isotopenhäufigkeiten im Sonnensystem

Tabelle A.2 gibt die Isotopenhäufigkeiten und die Elementhäufigkeiten im Sonnensystem nach Anders & Grevesse [3]. Diese Daten für die Häufigkeiten der Isotope wurden und werden in der astronomischen Literatur sehr viel verwendet. Die Häufigkeitsangaben einiger Elemente wurden seit dem Zeitpunkt der Publikation dieser Liste im Jahr 1989 revidiert, die von Sauerstoff sogar ganz erheblich. Der aktuelle Stand der Elementhäufigkeiten ist in Tab. A.1 angegeben.

Die Isotopenhäufigkeiten sind in Prozentanteilen im Isotopengemisch des Elements angegeben. Die Häufigkeiten sind in einer Skala angegeben, in der die Häufigkeit von Silizium (alle Isotope zusammen) gleich 10^6 gesetzt ist.

Die Tabelle gibt für die einzelnen Nuklide die Prozesse an, die für die wesentlichen Syntheseprozesse dieser Nuklide gehalten werden. Die Prozesse sind in der Reihenfolge ihrer Ausbeute gelistet. Die Abkürzungen in der Tabelle haben folgende Bedeutung:

U: Synthese im Urknall

H: Synthese durch Wasserstoffbrennen

N: Synthese durch heißes oder explosives Wasserstoffbrennen

He: Synthese durch Heliumbrennen

C: Synthese durch Kohlenstoffbrennen

O: Synthese durch Sauerstoffbrennen

Ne: Synthese durch Neonbrennen

E: Nukleares statistisches Gleichgewicht

Ex: Explosives Brennen (bei Supernovae)

S: Synthese durch den s -Prozeß, mehr als 30% Anteil

s: Synthese durch den s -Prozeß, weniger als 30% Anteil

R: Synthese durch den r -Prozeß, mehr als 30% Anteil

r: Synthese durch den r -Prozeß, weniger als 30% Anteil

RA: Synthese im r -Prozeß, der auch die Aktiniden produziert

p: Synthese im p -Prozeß

X: Synthese durch Spaltungsreaktionen, induziert durch kosmische Strahlung

Häufigkeiten, die mit einem '*' gekennzeichnet sind, sind Häufigkeiten von radioaktiven Isotopen oder deren Zerfallsprodukten zum Zeitpunkt der Entstehung des Sonnensystems.

Tabelle A.2.A.2: Isotopen- und Elementhäufigkeiten im Sonnensystem, Hauptsyntheseprozesse für die Isotope und Isotopenmassen. Häufigkeitsangaben mit einem vorangetzten Stern beziehen sich auf den Zeitpunkt der Entstehung des Sonnensystems vor 4.56 Ga.

Z	El	A	Prozent	Prozeß	Häufigk.	Masse
0	n	1				1.00866492
1	H	1	99.9966		$2.79 \cdot 10^{10}$	1.007825032
1		2	0.0034	U	$9.49 \cdot 10^5$	2.014101778
2	He	3	0.0142	U,h?	$3.86 \cdot 10^5$	3.01602931
2		4	99.9858	U,h	$2.72 \cdot 10^9$	4.00260325
3	Li	6	7.5	X	$4.28 \cdot 10^0$	6.015122
3		7	92.5	U,x,h	$5.28 \cdot 10^1$	7.016004
4	Be	9	100.0	X	$7.30 \cdot 10^{-1}$	9.012182
5	B	10	19.9	X	$4.22 \cdot 10^0$	10.012937
5		11	80.1	X	$1.70 \cdot 10^1$	11.009306
6	C	12	98.90	He	$9.99 \cdot 10^6$	12.000000
6		13	1.10	H,N	$1.11 \cdot 10^5$	13.00335484
7	N	14	99.634	H	$3.12 \cdot 10^6$	14.00307401
7		15	0.366	H,N	$1.15 \cdot 10^4$	15.0001090
8	O	16	99.762	He	$2.37 \cdot 10^7$	15.99491462
8		17	0.038	N,H	$9.04 \cdot 10^3$	16.9991315
8		18	0.200	He,N	$4.76 \cdot 10^4$	17.999160
9	F	19	100.0	N	$8.43 \cdot 10^2$	18.9984032
10	Ne	20	92.99	C	$3.20 \cdot 10^6$	19.99244018
10		21	0.226	C,Ex	$7.77 \cdot 10^3$	20.9938467
10		22	6.79	He,N	$2.34 \cdot 10^5$	21.9913855
11	Na	23	100.0	C,Ne,Ex	$5.74 \cdot 10^4$	22.9897697
12	Mg	24	78.99	N,Ex	$8.48 \cdot 10^5$	23.9850419
12		25	10.00	Ne,Ex,C	$1.07 \cdot 10^5$	24.9858370
12		26	11.01	Ne,Ex,C	$1.18 \cdot 10^5$	25.9825930
13	Al	27	100.0	Ne,Ex	$8.49 \cdot 10^4$	26.9815384
14	Si	28	92.23	O,Ex	$9.22 \cdot 10^5$	27.9769265
14		29	4.67	Ne,Ex	$4.67 \cdot 10^4$	28.9764947
14		30	3.10	Ne,Ex	$3.10 \cdot 10^4$	29.9737702
15	P	31	100.0	Ne,Ex	$1.04 \cdot 10^4$	30.9737615
16	S	32	95.02	O,Ex	$4.89 \cdot 10^5$	31.9720707
16		33	0.75	Ex	$3.86 \cdot 10^3$	32.9714585
16		34	4.21	O,Ex	$2.17 \cdot 10^4$	33.9678669
16		36	0.02	Ex,Ne,S	$1.03 \cdot 10^2$	35.9670809
17	Cl	35	75.77	Ex	$2.86 \cdot 10^3$	34.96885271
17		37	24.23	Ex,C,S	$9.13 \cdot 10^2$	36.9659026
18	Ar	36	84.2	Ex	$8.50 \cdot 10^4$	35.9675463
18		38	15.8	O,Ex	$1.60 \cdot 10^4$	37.9627322
18		40	0	S,Ne	$2.60 \cdot 10^1$	39.962383
18		40	0		$*2.50 \cdot 10^1$	

Fortsetzung Tabelle A.2

Z	El	A	Prozent	Prozeß	Häufigk.	Masse
19	K	39	93.2581	Ex	$3.52 \cdot 10^3$	38.9637069
19		40	0.01167	S,Ex,Ne	$4.40 \cdot 10^{-1}$	39.9639987
19		40			$*5.48 \cdot 10^0$	
19		41	6.7302	Ex	$2.54 \cdot 10^2$	40.9618260
20	Ca	40	96.941	Ex	$5.92 \cdot 10^4$	39.9625912
20		42	0.647	Ex,O	$3.95 \cdot 10^2$	41.9586183
20		43	0.135	Ex,C,S	$8.25 \cdot 10^1$	42.9587668
20		44	2.086	Ex,S	$1.28 \cdot 10^3$	43.955481
20		46	0.004	Ex,C,Ne	$2.40 \cdot 10^0$	45.953693
20		48	0.187	E,Ex	$1.14 \cdot 10^2$	47.952533
21	Sc	45	100.0	Ex,Ne,E	$3.42 \cdot 10^1$	44.955910
22	Ti	46	8.0	Ex	$1.92 \cdot 10^2$	45.952630
22		47	7.3	Ex	$1.75 \cdot 10^2$	46.951764
22		48	73.8	Ex	$1.77 \cdot 10^3$	47.947947
22		49	5.5	Ex	$1.32 \cdot 10^2$	48.947871
22		50	5.4	E	$1.30 \cdot 10^2$	49.944792
23	V	50	0.250	Ex,E	$7.32 \cdot 10^{-1}$	49.947163
23		51	99.750	Ex	$2.92 \cdot 10^2$	50.943964
24	Cr	50	4.345	Ex	$5.87 \cdot 10^2$	49.946050
24		52	83.789	Ex	$1.13 \cdot 10^4$	51.940512
24		53	9.501	Ex	$1.28 \cdot 10^3$	52.940653
24		54	2.365	E	$3.19 \cdot 10^2$	53.938885
25	Mn	55	100.0	Ex,E	$9.55 \cdot 10^3$	54.938049
26	Fe	54	5.8	Ex	$5.22 \cdot 10^4$	53.939615
26		56	91.72	Ex,E	$8.25 \cdot 10^5$	55.934942
26		57	2.2	E,Ex	$1.98 \cdot 10^4$	56.935398
26		58	0.28	He,E,C	$2.52 \cdot 10^3$	57.933280
27	Co	59	100.0	E,C	$2.25 \cdot 10^3$	58.933200
28	Ni	58	68.27	E,Ex	$3.37 \cdot 10^4$	57.935348
28		60	26.10	E	$1.29 \cdot 10^4$	59.930790
28		61	1.13	E,Ex,C	$5.57 \cdot 10^2$	60.931060
28		62	3.59	E,Ex,O	$1.77 \cdot 10^3$	61.928348
28		64	0.91	Ex	$4.49 \cdot 10^2$	63.927969
29	Cu	63	69.17	Ex,C	$3.61 \cdot 10^2$	62.929601
29		65	30.83	Ex	$1.61 \cdot 10^2$	64.927794
30	Zn	64	48.63	Ex,E	$6.13 \cdot 10^2$	63.929146
30		66	27.90	E	$3.52 \cdot 10^2$	65.926036
30		67	4.10	E,S	$5.17 \cdot 10^1$	66.927131
30		68	18.75	E,S	$2.36 \cdot 10^2$	67.924847
30		70	0.62	E,S	$7.80 \cdot 10^0$	69.925325
31	Ga	69	60.108	S,e,r	$2.27 \cdot 10^1$	68.925581
31		71	39.892	S,e,r	$1.51 \cdot 10^1$	70.924707

Fortsetzung Tabelle A.2

Z	El	A	Prozent	Prozeß	Häufigk.	Masse
32	Ge	70	20.5	S,e	$2.44 \cdot 10^1$	69.924250
32		72	27.4	S,e,r	$3.26 \cdot 10^1$	71.922076
32		73	7.8	e,s,r	$9.28 \cdot 10^0$	72.923460
32		74	36.5	e,s,r	$4.34 \cdot 10^1$	73.921178
32		76	7.8	E	$9.28 \cdot 10^1$	75.921403
33	As	75	100.0	R,s	$6.56 \cdot 10^0$	74.921597
34	Se	74	0.88	P	$5.50 \cdot 10^{-1}$	73.922477
34		76	9.0	S,p	$5.60 \cdot 10^0$	75.919214
34		77	7.6	R,s	$4.70 \cdot 10^0$	76.919915
34		78	23.6	R,s	$1.47 \cdot 10^1$	77.917310
34		80	49.7	R,s	$3.09 \cdot 10^1$	79.916522
34		82	9.2	R	$5.70 \cdot 10^0$	81.916700
35	Br	79	50.69	R,s	$5.98 \cdot 10^0$	78.918338
35		81	49.31	R,s	$5.82 \cdot 10^0$	80.916291
36	Kr	78	0.339	P	$1.53 \cdot 10^{-1}$	77.92039
36		80	2.22	S,p	$9.99 \cdot 10^{-1}$	79.916379
36		82	11.45	S	$5.15 \cdot 10^0$	81.913485
36		83	11.47	R,s	$5.16 \cdot 10^0$	82.914137
36		84	57.11	R,S	$2.57 \cdot 10^1$	83.911508
36		86	17.42	S,r	$7.84 \cdot 10^0$	85.910615
37	Rb	85	72.165	R,s	$5.12 \cdot 10^0$	84.911792
37		87	27.835	S	$1.97 \cdot 10^0$	86.909186
37		87			$*2.11 \cdot 10^0$	
38	Sr	84	0.56	P	$1.32 \cdot 10^{-1}$	83.913426
38		86	9.86	S	$2.32 \cdot 10^0$	85.909265
38		87	7.00	S	$1.64 \cdot 10^0$	86.908882
38		87			$*1.51 \cdot 10^0$	
38		88	82.58	S,r	$1.94 \cdot 10^1$	87.905617
39	Y	89	100.0	S	$4.64 \cdot 10^0$	88.905849
40	Zr	90	51.45	S	$5.87 \cdot 10^0$	89.904702
40		91	11.22	S	$1.28 \cdot 10^0$	90.905643
40		92	17.15	S	$1.96 \cdot 10^0$	91.905039
40		94	17.38	S	$1.98 \cdot 10^0$	93.906314
40		96	2.80	R	$3.20 \cdot 10^{-1}$	95.908275
41	Nb	93	100.0	S	$6.98 \cdot 10^{-1}$	92.906376
42	Mo	92	14.84	P	$3.78 \cdot 10^{-1}$	91.906810
42		94	9.25	P	$2.36 \cdot 10^{-1}$	93.905087
42		95	15.92	R,s	$4.06 \cdot 10^{-1}$	94.905841
42		96	16.68	S	$4.25 \cdot 10^{-1}$	95.904678
42		97	9.55	R,s	$2.44 \cdot 10^{-1}$	96.906020
42		98	24.13	R,s	$6.15 \cdot 10^{-1}$	97.905407
42		100	9.63	R	$2.46 \cdot 10^{-1}$	99.90748

Fortsetzung Tabelle A.2

Z	El	A	Prozent	Prozeß	Häufigk.	Masse
43	Tc					
44	Ru	96	5.52	P	$1.03 \cdot 10^{-1}$	95.90760
44		98	1.88	P	$3.50 \cdot 10^{-2}$	97.90529
44		99	12.7	R,s	$2.36 \cdot 10^{-1}$	98.905939
44		100	12.6	S	$2.34 \cdot 10^{-1}$	99.904219
44		101	17.0	R,s	$3.16 \cdot 10^{-1}$	100.905582
44		102	31.6	R,s	$5.88 \cdot 10^{-1}$	101.904349
44		104	18.7	R	$3.48 \cdot 10^{-1}$	103.905430
45	Rh	103	100.0	R,s	$3.44 \cdot 10^{-1}$	102.905504
46	Pd	102	1.020	P	$1.42 \cdot 10^{-2}$	101.905607
46		104	11.14	S	$1.55 \cdot 10^{-1}$	103.904034
46		105	22.33	R,s	$3.10 \cdot 10^{-1}$	104.905083
46		106	27.33	R,S	$3.80 \cdot 10^{-1}$	105.903484
46		108	26.46	R,S	$3.68 \cdot 10^{-1}$	107.903895
46		110	11.72	R	$1.63 \cdot 10^{-1}$	109.905153
47	Ag	107	51.839	R,s	$2.52 \cdot 10^{-1}$	106.905093
47		109	48.161	R,s	$2.34 \cdot 10^{-1}$	108.904756
48	Cd	106	1.25	P	$2.01 \cdot 10^{-2}$	105.90646
48		108	0.89	P	$1.43 \cdot 10^{-2}$	107.90418
48		110	12.49	S	$2.01 \cdot 10^{-1}$	109.903006
48		111	12.80	R,S	$2.06 \cdot 10^{-1}$	110.904182
48		112	24.13	S,R	$3.88 \cdot 10^{-1}$	111.902758
48		113	12.22	R,S	$1.97 \cdot 10^{-1}$	112.904401
48		114	28.73	S,R	$4.63 \cdot 10^{-1}$	113.903359
48		116	7.49	R	$1.21 \cdot 10^{-1}$	115.904756
49	In	113	4.3	p,s,r	$7.90 \cdot 10^{-3}$	112.904062
49		115	95.7	R,S	$1.76 \cdot 10^{-2}$	114.903879
50	Sn	112	0.973	P	$3.72 \cdot 10^{-2}$	111.904822
50		114	0.659	P,s	$2.52 \cdot 10^{-2}$	113.902783
50		115	0.339	p,s,r	$1.29 \cdot 10^{-2}$	114.903347
50		116	14.538	S,r	$5.55 \cdot 10^{-1}$	115.901745
50		117	7.672	R,S	$2.93 \cdot 10^{-1}$	116.902955
50		118	24.217	S,r	$9.25 \cdot 10^{-1}$	117.901608
50		119	8.587	S,R	$3.28 \cdot 10^{-1}$	118.903311
50		120	32.596	S,R	$1.25 \cdot 10^0$	119.902199
50		122	4.632	R	$1.77 \cdot 10^{-1}$	121.903441
50		124	5.787	R	$2.21 \cdot 10^{-1}$	123.905275
51	Sb	121	57.362	R,s	$1.77 \cdot 10^{-1}$	120.903822
51		123	42.638	R	$1.32 \cdot 10^{-1}$	122.904216

Fortsetzung Tabelle A.2

Z	El	A	Prozent	Prozeß	Häufigk.	Masse
52	Te	120	0.09	P	$4.30 \cdot 10^{-3}$	119.90403
52		122	2.57	S	$1.24 \cdot 10^{-1}$	121.903056
52		123	0.89	S	$4.28 \cdot 10^{-2}$	122.904271
52		124	4.76	S	$2.29 \cdot 10^{-1}$	123.902819
52		125	7.10	R,s	$3.42 \cdot 10^{-1}$	124.904424
52		126	18.89	R,s	$9.09 \cdot 10^{-1}$	125.903305
52		128	31.73	R	$1.53 \cdot 10^0$	127.904462
52		130	33.97	R	$1.63 \cdot 10^0$	129.906223
53	J	127	100.0	R	$9.00 \cdot 10^{-1}$	126.904468
54	Xe	124	0.121	P	$5.71 \cdot 10^{-3}$	123.905895
54		126	0.108	P	$5.09 \cdot 10^{-3}$	125.90427
54		128	2.19	S	$1.03 \cdot 10^{-1}$	127.903531
54		129	27.34	R	$1.28 \cdot 10^0$	128.904780
54		130	4.35	S	$2.05 \cdot 10^{-1}$	129.903509
54		131	21.69	R	$1.02 \cdot 10^0$	130.905083
54		132	26.50	R,s	$1.24 \cdot 10^0$	131.904155
54		134	9.76	R	$4.59 \cdot 10^{-1}$	133.905395
54		136	7.94	R	$3.73 \cdot 10^{-1}$	135.90722
55	Cs	133	100.0	R,s	$3.72 \cdot 10^{-1}$	132.905447
56	Ba	130	0.106	P	$4.76 \cdot 10^{-3}$	129.90631
56		132	0.101	P	$4.53 \cdot 10^{-3}$	131.905056
56		134	2.417	S	$1.09 \cdot 10^{-1}$	133.904504
56		135	6.592	R,s	$2.96 \cdot 10^{-1}$	134.905684
56		136	7.854	S	$3.53 \cdot 10^{-1}$	135.904571
56		137	11.23	S,r	$5.04 \cdot 10^{-1}$	136.905822
56		138	71.70	S	$3.22 \cdot 10^0$	137.905242
57	La	138	0.089	P	$3.97 \cdot 10^{-4}$	137.907107
57		138			$*4.09 \cdot 10^{-4}$	
57		139	99.911	S,r	$4.46 \cdot 10^{-1}$	138.906349
58	Ce	136	0.19	P	$2.16 \cdot 10^{-3}$	135.90714
58		138	0.25	P	$2.84 \cdot 10^{-3}$	137.90599
58		138			$*2.83 \cdot 10^{-3}$	
58		140	88.48	S,r	$1.01 \cdot 10^0$	139.905435
58		142	11.08	R	$1.26 \cdot 10^{-1}$	141.909241
59	Pr	141	100.0	R,S	$1.67 \cdot 10^{-1}$	140.907648
60	Nd	142	27.13	S	$2.25 \cdot 10^{-1}$	141.907719
60		143	12.18	R,S	$1.01 \cdot 10^{-1}$	142.909810
60		143			$*1.00 \cdot 10^{-1}$	
60		144	23.80	S,R	$1.97 \cdot 10^{-1}$	143.910083
60		145	8.30	R,s	$6.87 \cdot 10^{-2}$	144.912569
60		146	17.19	R,S	$1.42 \cdot 10^{-1}$	145.913113
60		148	5.76	R	$4.77 \cdot 10^{-2}$	147.916889
60		150	5.64	R	$4.67 \cdot 10^{-2}$	149.920887

Fortsetzung Tabelle A.2

Z	El	A	Prozent	Prozeß	Häufigk.	Masse
61	Pm					
62	Sm	144	3.1	P	$8.00 \cdot 10^{-3}$	143.911996
62		147	15.0	R,s	$3.87 \cdot 10^{-2}$	146.914894
62		147			$*3.99 \cdot 10^{-2}$	
62		148	11.3	S	$2.92 \cdot 10^{-2}$	147.914818
62		149	13.8	R,S	$3.56 \cdot 10^{-2}$	148.917180
62		150	7.4	S	$1.91 \cdot 10^{-2}$	149.917272
62		152	26.7	R,S	$6.89 \cdot 10^{-2}$	151.919729
62		154	22.7	R	$5.86 \cdot 10^{-2}$	153.922206
63	Eu	151	47.8	R,s	$4.65 \cdot 10^{-2}$	150.919846
63		153	52.2	R,s	$5.08 \cdot 10^{-2}$	152.921227
64	Gd	152	0.20	P,s	$6.60 \cdot 10^{-4}$	151.919789
64		154	2.18	S	$7.19 \cdot 10^{-3}$	153.920862
64		155	14.80	R,s	$4.88 \cdot 10^{-2}$	154.922619
64		156	20.47	R,s	$6.76 \cdot 10^{-2}$	155.922120
64		157	15.65	R,s	$5.16 \cdot 10^{-2}$	156.923957
64		158	24.84	R,s	$8.20 \cdot 10^{-2}$	157.924101
64		160	21.86	R	$7.21 \cdot 10^{-2}$	159.927051
65	Tb	159	100.0	R	$6.03 \cdot 10^{-2}$	158.925343
66	Dy	156	0.056	P	$2.21 \cdot 10^{-4}$	155.924428
66		158	0.096	P	$3.78 \cdot 10^{-4}$	157.924405
66		160	2.34	S	$9.22 \cdot 10^{-3}$	159.925194
66		161	18.91	R	$7.45 \cdot 10^{-2}$	160.926930
66		162	25.51	R,s	$1.01 \cdot 10^{-1}$	161.926795
66		163	24.90	R	$9.82 \cdot 10^{-2}$	162.928728
66		164	28.19	R,S	$1.11 \cdot 10^{-1}$	163.929171
67	Ho	165	100.0	R	$8.89 \cdot 10^{-2}$	164.930319
68	Er	162	0.14	P	$3.51 \cdot 10^{-4}$	161.928775
68		164	1.61	P,S	$4.04 \cdot 10^{-3}$	163.929197
68		166	33.6	R,s	$8.43 \cdot 10^{-2}$	165.930290
68		167	22.95	R	$5.76 \cdot 10^{-2}$	166.932046
68		168	26.8	R,S	$6.72 \cdot 10^{-2}$	167.932368
68		170	14.9	R	$3.74 \cdot 10^{-2}$	169.935461
69	Tm	169	100.0	R,s	$3.78 \cdot 10^{-2}$	168.934211
70	Yb	168	0.13	P	$3.22 \cdot 10^{-4}$	167.933895
70		170	3.05	S	$7.56 \cdot 10^{-3}$	169.934759
70		171	14.3	R,s	$3.54 \cdot 10^{-2}$	170.936323
70		172	21.9	R,S	$5.43 \cdot 10^{-2}$	171.936378
70		173	16.12	R,s	$4.00 \cdot 10^{-2}$	172.938207
70		174	31.8	S,R	$7.88 \cdot 10^{-2}$	173.938858
70		176	12.7	R	$3.15 \cdot 10^{-2}$	175.942569

Fortsetzung Tabelle A.2

Z	El	A	Prozent	Prozeß	Häufigk.	Masse
71	Lu	175	97.41	R,s	$3.57 \cdot 10^{-2}$	174.940768
71		176	2.59	S	$9.51 \cdot 10^{-4}$	175.942683
71		176			$*1.04 \cdot 10^{-3}$	
72	Hf	174	0.162	P	$2.49 \cdot 10^{-4}$	173.940042
72		176	5.206	S	$8.02 \cdot 10^{-3}$	175.941403
72		176			$*7.93 \cdot 10^{-3}$	
72		177	18.606	R,s	$2.87 \cdot 10^{-2}$	176.943220
72		178	27.297	R,S	$4.20 \cdot 10^{-2}$	177.943698
72		179	13.629	R,s	$2.10 \cdot 10^{-2}$	178.945815
72		180	35.100	S,R	$5.41 \cdot 10^{-2}$	179.946549
73	Ta	180	0.012	p,s,r	$2.48 \cdot 10^{-4}$	179.947466
73		181	99.988	R,S	$2.07 \cdot 10^{-2}$	180.947996
74	W	180	0.13	P	$1.73 \cdot 10^{-4}$	179.946706
74		182	26.3	R,s	$3.50 \cdot 10^{-2}$	181.948205
74		183	14.3	R,s	$1.90 \cdot 10^{-2}$	182.950224
74		184	30.67	R,s	$4.08 \cdot 10^{-2}$	183.950932
74		186	28.6	R	$3.80 \cdot 10^{-2}$	185.954362
75	Re	185	37.40	R,s	$1.93 \cdot 10^{-2}$	184.952955
75		187	62.60	R	$3.24 \cdot 10^{-2}$	186.955751
75		187			$*3.51 \cdot 10^{-2}$	
76	Os	184	0.018	P	$1.22 \cdot 10^{-4}$	183.952491
76		186	1.58	S	$1.07 \cdot 10^{-2}$	185.953838
76		187	1.6	S	$1.08 \cdot 10^{-2}$	186.955748
76		187			$*8.07 \cdot 10^{-3}$	
76		188	13.3	R,s	$8.98 \cdot 10^{-2}$	187.955836
76		189	16.1	R	$1.09 \cdot 10^{-1}$	188.958145
76		190	26.4	R	$1.78 \cdot 10^{-1}$	189.958445
76		192	41.0	R	$2.77 \cdot 10^{-1}$	191.961479
77	Ir	191	37.3	R	$2.47 \cdot 10^{-1}$	190.960591
77		193	62.7	R	$4.14 \cdot 10^{-1}$	192.962923
78	Pt	190	0.0127	P	$1.70 \cdot 10^{-4}$	189.95993
78		192	0.78	S	$1.05 \cdot 10^{-2}$	191.961035
78		194	32.9	R	$4.41 \cdot 10^{-1}$	193.962663
78		195	33.8	R	$4.53 \cdot 10^{-1}$	194.964774
78		196	25.2	R	$3.38 \cdot 10^{-1}$	195.964934
78		198	7.19	R	$9.63 \cdot 10^{-2}$	197.967875
79	Au	197	100.0	R	$1.87 \cdot 10^{-1}$	196.966551

Fortsetzung Tabelle A.2

Z	El	A	Prozent	Prozeß	Häufigk.	Masse
80	Hg	196	0.1534	P	$5.20 \cdot 10^{-4}$	195.965814
80		198	9.968	S	$3.39 \cdot 10^{-2}$	197.966752
80		199	16.873	R,S	$5.74 \cdot 10^{-2}$	198.968262
80		200	23.096	S,r	$7.85 \cdot 10^{-2}$	199.968309
80		201	13.181	S,r	$4.48 \cdot 10^{-2}$	200.970285
80		202	29.863	S,r	$1.02 \cdot 10^{-1}$	201.972857
80		204	6.865	R	$2.33 \cdot 10^{-2}$	203.973475
81	Tl	203	29.524	R,S	$5.43 \cdot 10^{-2}$	202.972329
81		205	70.476	S,R	$1.30 \cdot 10^{-1}$	204.974412
82	Pb	204	1.94	S	$6.11 \cdot 10^{-2}$	203.973028
82		206	19.12	R,S	$6.02 \cdot 10^{-1}$	205.974449
82		206			$*5.93 \cdot 10^{-1}$	
82		207	20.62	R,S	$6.50 \cdot 10^{-1}$	206.975880
82		207			$*6.44 \cdot 10^{-1}$	
82		208	58.31	R,s	$1.84 \cdot 10^0$	207.976636
82		208			$*1.83 \cdot 10^0$	
83	Bi	209	100.0	R,s	$1.44 \cdot 10^{-1}$	208.980384
84	Po					
85	At					
86	Rn					
87	Fr					
88	Ra					
89	Ac					
90	Th	232	100.0	RA	$3.35 \cdot 10^{-2}$	232.038050
90		232			$*4.20 \cdot 10^{-2}$	
92	U	235	0.7200	RA	$6.48 \cdot 10^{-5}$	235.043922
92		235			$*5.73 \cdot 10^{-3}$	
92		238	99.2745	RA	$8.93 \cdot 10^{-3}$	238.050784
92		238			$*1.81 \cdot 10^{-2}$	

Literaturverzeichnis

- [1] Allende Prieto, C., Lambert, D. L., Asplund, M. (2001) The Forbidden Abundance of Oxygen in the Sun. *Astrophysical J.*, **556**, L63–66
- [2] Allende Prieto, C., Lambert, D. L., Asplund, M. (2002) A Reappraisal of the Solar Photospheric C/O Ratio. *Astrophysical J.*, **573**, L137–140
- [3] Anders, E., Grevesse, N., 1989, Abundances of the elements: Meteoritic and solar, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **53**, 197
- [4] Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J. (2005) The Solar Chemical Composition. In: Cosmic Abundances as Records of Stellar Evolution and Nucleosynthesis, ASP Conference Series, Vol. 336, ed. T. G. Barnes III, F. N. Bash. (San Francisco: Astronomical Society of the Pacific), p.25–38
- [5] Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J., Scott, P. (2009) The Chemical Composition of the Sun. *Annual Review Astronomy & Astrophysics*, **47**, p. 481–522
- [6] Grevesse, N., Sauval, A. J. (1998) Standard Solar Composition. *Space Science Reviews*, **85**, 161–174
- [7] Lodders, K., Palme, H., Gail, H. P. (2009) Abundances of the elements in the solar system. In: Landolt-Börnstein, New Series, Group IV, Vol. 4. Edited by: J. E., Trümper. Springer, Berlin. p. 560–599
- [8] Palme, H., Jones, A. (2003) Solar System Abundances of the Elements. in: Treatise on Geochemistry, ed. Holland, H. D., Turekian, K. K. (Amsterdam: Elsevier), p. 41–61