

# Inhaltsverzeichnis

(Table of Contents see page IV)

	Seite		Seite
<b>1 Geschichtliches</b> .....	1	Mittelwerte für Steinmeteorite .....	30
<b>2 Kosmochemie</b> .....	3	Gesamtmittel aller Meteorite .....	31
<b>2.1 Scandium im Kosmos</b> .....	3	2.2.3 Kosmogenes Scandium .....	31
2.1.1 Sternspektren .....	3	<b>2.3 Scandium in Tektiten</b> .....	33
Überblick und Entstehung		<b>2.4 Scandium auf dem Mond</b> .....	34
von Scandium im Kosmos .....	3	2.4.1 Scandium-Gehalte .....	34
Normale Sterne .....	3	Apollo 11 .....	34
Sterne vom B-Typ .....	3	Apollo 12 .....	37
Sterne vom A-Typ .....	4	Apollo 14 .....	39
Sterne vom F-Typ .....	4	Apollo 15 .....	40
Sterne vom G-Typ .....	5	Luna 16 .....	41
Sterne vom K-Typ .....	5	Sc-Gehalte in Gläsern und Mineralien ..	42
Sterne vom M-Typ .....	6	Vergleich der Sc-Gehalte der einzelnen	
Besondere und veränderliche Sterne ..	6	Gesteinstypen eines Landeplatzes ....	42
Einige besondere Sterne .....	6	Vergleich der Sc-Gehalte in den Gesteinen	
Magnetisch Veränderliche .....	7	verschiedener Landeplätze .....	43
Novae und Supernovae .....	7	Vergleich der Sc-Gehalte in Mondproben,	
Sterne der Population II, Cepheide ...	8	Meteoriten, terrestrischen Gesteinen	
Sterne vom S-Typ .....	8	und auf der Sonne .....	44
Weitere Veränderliche .....	9	2.4.2 Kosmogenes Scandium .....	45
Metalllinien-Sterne .....	10	<b>3 Geochemie</b> .....	47
Barium II-Sterne .....	11	<b>3.1 Kristallchemische Grundlagen</b> ...	47
Kohlenstoff-Sterne .....	11	3.1.1 Allgemeines und Koordination des Sc	47
CH-Sterne .....	12	3.1.2 Höhe der Gehalte in Sc-Mineralien .	47
Helium-Sterne .....	12	3.1.3 Diadochiebeziehungen des Sc .....	48
Weitere Einzelsterne .....	12	Allgemeines .....	48
Doppelsterne .....	12	Diadochiebeziehungen zu Fe .....	49
Sterne aus drei Komponenten .....	14	Diadochiebeziehungen zu Mg .....	51
Sterne in Sternhaufen .....	14	Diadochiebeziehungen zu Zr (und Hf) ..	51
2.1.2 Sonnenspektrum .....	15	Diadochiebeziehungen zu Y und	
Überblick .....	15	Seltenerdelementen .....	52
Chromosphäre und Korona .....	15	Diadochiebeziehungen zu weiteren	
Häufigkeit in der Sonnenatmosphäre ...	16	Elementen .....	53
2.1.3 Sc in der kosmischen Strahlung ...	17	3.1.4 Scandium als Spurenelement	
2.1.4 Kosmische Häufigkeit von Sc .....	17	in Mineralien .....	55
<b>2.2 Scandium in Meteoriten</b> .....	18	Allgemeines .....	55
2.2.1 Art des Auftretens .....	18	Elemente .....	55
In Mineralien .....	18	Sulfide .....	55
Verteilung .....	19	Halogenide .....	56
2.2.2 Höhe der Gehalte .....	20	Oxide, Hydroxide .....	56
Eisenmeteorite .....	20	Beziehungen zur Genese .....	56
Einzelwerte .....	20	Höhe der Gehalte .....	59
Gesamtmittel für Eisenmeteorite .....	21	Spinelle .....	59
Steineisen .....	21	Oxide vom Typ $M_2O_3$ und	
Steinmeteorite .....	21	verwandte Verbindungen .....	60
Einzelwerte .....	21	Oxide vom Typ $MO_2$ und	
Chondrite .....	21	verwandte Verbindungen .....	61
Achondrite .....	28	Hydroxide .....	64

	Seite		Seite
Carbonate und Borate .....	64	Zeitpunkt der Abscheidung .....	116
Wolframate .....	64	Höhe der Sc-Gehalte .....	117
Phosphate und Vanadate .....	64	In Pegmatiten .....	117
Silikate .....	65	In Apliten .....	117
Beziehungen zur Genese .....	65	Pneumatolytisch-hydrothermale Phase ..	117
Sc in koexistierenden Silikaten		Allgemeines .....	117
und Oxiden .....	71	Transport und Abscheidung .....	118
Höhe der Gehalte .....	77	Art des Auftretens .....	118
Nesosilikate und Neso-Subsilikate ..	77	Umwandlungen und Einwirkungen	
Sorosilikate und Cyclosilikate .....	79	auf das Nebengestein .....	119
Inosilikate .....	81	Rezenter Vulkanismus .....	120
Phyllosilikate .....	85	3.3.2 Sedimentäre Abfolge .....	121
Tektosilikate .....	87	Allgemeines .....	121
Organische Substanzen .....	88	Verhalten von Sc bei der Verwitterung ..	121
<b>3.2 Geochemischer Charakter.</b>		Transport und Abscheidung .....	123
<b>Häufigkeit</b> .....	88	Art des Auftretens .....	124
<b>3.3 Scandium in der Lithosphäre</b> .....	88	Höhe der Gehalte .....	126
3.3.1 Magmatische Abfolge .....	88	Tabellarische Zusammenstellung .....	126
Orthomagmatische Phase .....	88	Ergänzungen .....	131
Herkunft und Art des Auftretens .....	88	3.3.3 Metamorphe Abfolge .....	133
Herkunft und Auftreten		Art des Auftretens .....	133
in der Schmelze .....	88	Höhe der Gehalte .....	134
Auftreten in den Magmatiten .....	89	Herkunft und Verhalten	
Allgemeines .....	89	bei der <b>Metamorphose</b> .....	143
Gesteinsgruppen und Massive .....	89	Allgemeines .....	143
Granitische Gesteine .....	90	Verhalten bei der <b>Regional- und</b>	
Weitere Magmatite .....	91	<b>Kontaktmetamorphose</b> .....	144
Höhe der Gehalte .....	92	Verhalten bei der <b>Metasomatose</b> .....	145
Standardgesteine .....	92	Skarnlagerstätten .....	146
Mittelwerte .....	93	Granitisation und <b>Mobilisation</b> .....	147
Weitere Werte .....	98	<b>3.4 Scandium in der Hydrosphäre</b> .....	147
Intrusivgesteine, Gänge und Effusiv-		3.4.1 Allgemeines .....	147
gesteine — Vergleich ihrer Gehalte	103	3.4.2 Gehalte .....	148
Gesamtmittel und Verteilung .....	104	Meerwasser .....	148
Verhalten bei der Differentiation .....	105	Grund- und Oberflächenwasser .....	148
Beziehungen von Sc zu anderen		Mineralwässer .....	149
Elementen .....	106	<b>3.5 Atmosphäre</b> .....	149
Zu SiO <sub>2</sub> und Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	106	<b>3.6 Kreislauf des Scandium</b> .....	149
Sc- und SiO <sub>2</sub> -Gehalte .....	106	<b>4 Mineralien</b> .....	152
Weitere Angaben für Si und		<b>4.1 Sc-Ixiolith</b> .....	152
Beziehungen zu Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	109	<b>4.2 Kolbeckit (Sterrettit)</b> .....	152
Zu Fe und Mg .....	109	<b>4.3 Thortveitit</b> .....	153
Zu weiteren Hauptelementen .....	110	4.3.1 Paragenese .....	153
Zu Spurenelementen .....	111	4.3.2 Chemismus .....	153
Beziehungen von Sc zur Alkalinität		4.3.3 Kristallform und Struktur .....	154
der Eruptiva .....	111	4.3.4 Optische und sonstige Eigenschaften	157
Assimilation .....	112	<b>4.4 Bazzit</b> .....	157
Höhe der Sc-Gehalte als Kriterium für		<b>4.5 Sc-Perrierit</b> .....	158
Genese und Alter der Gesteine .....	112	<b>4.6 Magbasit</b> .....	159
Pegmatite und Aplite .....	113		
Allgemeines .....	113		
Beziehungen zu den Intrusionen .....	113		
Herkunft und Transport .....	114		
Art des Auftretens .....	115		

	Seite		Seite
<b>5 Gewinnungsmöglichkeiten und Verwendung</b> .....	160	<b>Kaukasus</b> .....	170
<b>5.1 Möglichkeiten der Scandium-Gewinnung</b> .....	160	<b>Ural</b> .....	170
5.1.1 Allgemeines .....	160	<b>5.2.5 Sowjetunion, Außereuropäischer Teil</b> .....	171
5.1.2 Spezielle Gewinnungsmöglichkeiten .....	160	Kasachstan .....	171
<b>5.2 Scandium-Konzentrationen in regionaler Anordnung</b> .....	164	West- und Mittel-Sibirien .....	172
<b>5.2.1 Deutsche Demokratische Republik und Tschechoslowakei</b> .....	164	Sowjetisch-Zentralasien .....	172
Ehrenfriedersdorf .....	165	Transbaikalien .....	172
Geyer .....	165	Nord-Sibirien und Jakutien .....	173
Altenberg .....	165	<b>5.2.6 Südostasien und China</b> .....	173
Zinnwald .....	165	<b>5.2.7 Afrika</b> .....	173
Sadisdorf .....	165	Madagaskar .....	174
Graupen .....	166	Pegmatite mit Thortveitit .....	174
Schlaggenwald .....	166	Pegmatite mit Sc-haltigen Mineralien .....	174
Eibenstocker Granit .....	166	Mozambique .....	174
Weitere Gruben im Erzgebirge und im Vogtland .....	166	Übriges Afrika .....	175
<b>5.2.2 Norwegen</b> .....	166	<b>5.2.8 Nordamerika</b> .....	175
<b>5.2.3 Schweden</b> .....	168	Kanada .....	175
<b>5.2.4 Sowjetunion, Europäischer Teil</b> .....	168	USA, Westen .....	176
Kola-Halbinsel .....	168	USA, Osten .....	176
Karelien .....	169	<b>5.2.9 Südamerika</b> .....	177
Moskauer Becken — Ilmenseegebiet .....	170	Bolivien .....	177
Ukraine .....	170	Argentinien .....	177
		Brasilien .....	177
		<b>5.2.10 Australien</b> .....	177
		<b>5.2.11 Neuseeland</b> .....	178
		<b>5.3 Verwendung</b> .....	178
		<b>5.4 Preise</b> .....	180

## Table of Contents

(Inhaltsverzeichnis s. S. I)

	Page		Page
<b>1 History</b> .....	1	Average Values for Stony Meteorites ..	30
<b>2 Cosmochemistry</b> .....	3	Overall Average of All Meteorites .....	31
<b>2.1 Scandium in the Cosmos</b> .....	3	2.2.3 Cosmogenic Scandium .....	31
2.1.1 Star Spectra .....	3	<b>2.3 Scandium in Tectites</b> .....	33
Review and Origin of Scandium in the Cosmos .....	3	<b>2.4 Scandium on the Moon</b> .....	34
Normal Stars .....	3	2.4.1 Sc Content .....	34
Stars of the B-Type .....	3	Apollo 11 .....	34
Stars of the A-Type .....	4	Apollo 12 .....	37
Stars of the F-Type .....	4	Apollo 14 .....	39
Stars of the G-Type .....	5	Apollo 15 .....	40
Stars of the K-Type .....	5	Luna 16 .....	41
Stars of the M-Type .....	6	Sc Content in Glasses and Minerals .....	42
Peculiar and Variable Stars .....	6	Sc Content Comparison of Individual Rock Types at One Landing Site .....	42
Some Peculiar Stars .....	6	Sc Content Comparison of Rocks at Several Landing Sites .....	43
Magnetic Variable Stars .....	7	Sc Content Comparison of Lunar Samples, Meteorites, Terrestrial Rocks, and on the Sun .....	44
Novae and Supernovae .....	7	2.4.2 Cosmogenic Scandium .....	45
Stars of Population II, Cepheids .....	8	<b>3 Geochemistry</b> .....	47
Stars of the S-Type .....	8	<b>3.1 Crystal Chemistry</b> .....	47
Other Variable Stars .....	9	3.1.1 General. Coordination of Sc .....	47
Metal Line Stars .....	10	3.1.2 Sc Content of Sc Minerals .....	47
Barium II Stars .....	11	3.1.3 Diadochy of Sc .....	48
Carbon Stars .....	11	General .....	48
CH Stars .....	12	Diadochy to Fe .....	49
Helium Stars .....	12	Diadochy to Mg .....	51
Other Individual Stars .....	12	Diadochy to Zr (and Hf) .....	51
Double Stars .....	12	Diadochy to Y and Rare Earth Elements ..	52
Three Component Stars .....	14	Diadochy to Other Elements .....	53
Stars in Star Clusters .....	14	3.1.4 Scandium as Trace Element in Minerals .....	55
2.1.2 Solar Spectrum .....	15	General .....	55
Review .....	15	Elements .....	55
Chromosphere and Corona .....	15	Sulfides .....	55
Abundance in the Solar Atmosphere .....	16	Halides .....	56
2.1.3 Sc in Cosmic Rays .....	17	Oxides, Hydroxides .....	56
2.1.4 Cosmic Abundance of Sc .....	17	Genetic Relationships .....	56
<b>2.2 Scandium in Meteorites</b> .....	18	Sc Content .....	59
2.2.1 Type of Occurrence .....	18	Spinel .....	59
In Minerals .....	18	Oxides of the $M_2O_3$ Type and Related Compounds .....	60
Distribution .....	19	Oxides of the $MO_2$ Type and Related Compounds .....	61
2.2.2 Sc Content .....	20	Hydroxides .....	64
Iron Meteorites .....	20		
Individual Values .....	20		
Overall Average for Iron Meteorites ..	21		
Stony Iron .....	21		
Stony Meteorites .....	21		
Individual Values .....	21		
Chondrites .....	21		
Achondrites .....	28		

	Page		Page
Carbonates and Borates .....	64	Sc Content .....	117
Tungstates .....	64	In Pegmatites .....	117
Phosphates and Vanadates .....	64	In Aplites .....	117
Silicates .....	65	Pneumatolytic Hydrothermal Phase .....	117
Genetic Relationships .....	65	General .....	117
Sc in Coexisting Silicates and Oxides .....	71	Transport and Deposition .....	118
Sc Content .....	77	Type of Occurrence .....	118
Nesosilicates and Neso-Subsilicates .....	77	Transformations and Effects	
Sorosilicates and Cyclosilicates .....	79	on Country Rock .....	119
Inosilicates .....	81	Recent Volcanism .....	120
Phyllosilicates .....	85	3.3.2 Sedimentary Cycle .....	121
Tectosilicates .....	87	General .....	121
Organic Substances .....	88	Behavior of Sc in Weathering .....	121
<b>3.2 Geochemical Character.</b>		Transport and Deposition .....	123
<b>Abundance</b> .....	88	Type of Occurrence .....	124
<b>3.3 Scandium in the Lithosphere</b> .....	88	Sc Content .....	126
<b>3.3.1 Magmatic Cycle</b> .....	88	Tabular Compilation .....	126
Orthomagmatic Stage .....	88	Supplemental Information .....	131
Origin and Type of Occurrence .....	88	<b>3.3.3 Metamorphic Cycle</b> .....	133
Origin and Occurrence in the Melt .....	88	Type of Occurrence .....	133
Occurrence in Magmatites .....	89	Sc Content .....	134
General .....	89	Origin and Behavior in Metamorphism .....	143
Rock Groups and Massifs .....	89	General .....	143
Granitic Rocks .....	90	Behavior in Regional and Contact	
Other Magmatites .....	91	Metamorphism .....	144
Sc Content .....	92	Behavior in Metasomatosiis .....	145
Standard Rocks .....	92	Skarn Deposits .....	146
Average Values .....	93	Granitization and Mobilization .....	147
Other Values .....	98	<b>3.4 Scandium in the Hydrosphere</b> .....	147
Comparison of Sc Content		3.4.1 General .....	147
of Intrusive Rocks, Gangues,		3.4.2 Sc Content .....	148
and Effusive Rocks .....	103	Sea Water .....	148
Overall Average and Distribution .....	104	Ground and Surface Waters .....	148
Behavior in Differentiation .....	105	Mineral Waters .....	149
Relationship of Sc to Other Elements .....	106	<b>3.5 Atmosphere</b> .....	149
To SiO <sub>2</sub> and Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	106	<b>3.6 Geochemical Cycle of Scandium</b> .....	149
Sc and SiO <sub>2</sub> Content .....	106	<b>4 Minerals</b> .....	152
Other Data for Si and		<b>4.1 Sc-Ixiolite</b> .....	152
Relationship to Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	109	<b>4.2 Kolbeckite (Sterrettite)</b> .....	152
To Fe and Mg .....	109	<b>4.3 Thortveitite</b> .....	153
To Other Principal Elements .....	110	4.3.1 Paragenesis .....	153
To Trace Elements .....	111	4.3.2 Chemism .....	153
Relationship of Sc to Eruptiva		4.3.3 Crystal Form and Structure .....	154
Alkalinity .....	111	4.3.4 Optical and Other Properties .....	157
Assimilation .....	112	<b>4.4 Bazzite</b> .....	157
Sc Content as a Criterion for		<b>4.5 Sc-Perrierite</b> .....	158
Rock Genesis and Age .....	112	<b>4.6 Magbasite</b> .....	159
<b>Pegmatites and Aplites</b> .....	113		
General .....	113		
Relationship to the Intrusions .....	113		
Origin and Transport .....	114		
Type of Occurrence .....	115		
Time of Deposition .....	116		

	Page		Page
<b>5 Recovery Possibilities and Use</b> . . . . .	160	Caucasus . . . . .	170
<b>5.1 Possibilities of Scandium Recovery</b> . . . . .	160	Ural . . . . .	170
5.1.1 General . . . . .	160	<b>5.2.5 Soviet Union, Asiatic Part</b> . . . . .	171
5.1.2 Special Recovery Possibilities . . . . .	160	Kazakhstan . . . . .	171
<b>5.2 Scandium Enrichment, Arranged by Regions</b> . . . . .	164	Western and Central Siberia . . . . .	172
<b>5.2.1 German Democratic Republic and Czechoslovakia</b> . . . . .	164	Soviet Central Asia . . . . .	172
Ehrenfriedersdorf . . . . .	165	Transbaikalia . . . . .	172
Geyer . . . . .	165	Northern Siberia and Yakutia . . . . .	173
Altenberg . . . . .	165	<b>5.2.6 Southeast Asia and China</b> . . . . .	173
Zinnwald . . . . .	165	<b>5.2.7 Africa</b> . . . . .	173
Sadisdorf . . . . .	165	Madagascar . . . . .	174
Graupen . . . . .	166	Pegmatites with Thortveitite . . . . .	174
Schlaggenwald . . . . .	166	Pegmatites with Minerals Containing Sc . . . . .	174
Eibenstocker Granite . . . . .	166	Mozambique . . . . .	174
Other Mines in the Erzgebirge and Vogtland . . . . .	166	Other States in Africa . . . . .	175
<b>5.2.2 Norway</b> . . . . .	166	<b>5.2.8 North America</b> . . . . .	175
<b>5.2.3 Sweden</b> . . . . .	168	Canada . . . . .	175
<b>5.2.4 Soviet Union, European Part</b> . . . . .	168	USA, Western States . . . . .	176
Kola Peninsula . . . . .	168	USA, Eastern States . . . . .	176
Karelia . . . . .	169	<b>5.2.9 South America</b> . . . . .	177
Moscow Basin—Region Near Lake Ilmen . . . . .	170	Bolivia . . . . .	177
Ukraine . . . . .	170	Argentina . . . . .	177
		Brazil . . . . .	177
		<b>5.2.10 Australia</b> . . . . .	177
		<b>5.2.11 New Zealand</b> . . . . .	178
		<b>5.3 Use</b> . . . . .	178
		<b>5.4 Prices</b> . . . . .	180

# Scandium

Ordnungszahl 21 · Atomgewicht 44.956

## 1 Geschichtliches<sup>1)</sup>

History

Die Entdeckung des Elements Scandium ist eng verknüpft mit der Geschichte der Seltenerd-elemente, s. hierzu „Seltene Erden“ A 1, S. 7/9, und Geschichte der Seltenerd-elemente in „Seltenerd-elemente“ A 3. Bei der Herstellung von Yb aus 63 g „Erbinerde“, gewonnen aus Gadolinit von Ytterby, Schweden, und aus Euxenit von Arendal, Norwegen, findet L. F. Nilson 1879 [1] eine schwach basische, ihm unbekanntere Erde mit einem Molekulargewicht < 131. In einer zweiten, anschließenden Arbeit gibt Nilson [2] dem aus dieser Erde mit Oxalsäure ausgefallenen, neuen Element den Namen Scandium, um sein Auftreten in den Mineralien Gadolinit und Euxenit zu berücksichtigen, die bis zu jener Zeit nur aus Skandinavien bekannt waren. Als Schwede hat er damit zugleich sein Heimatland geehrt. Noch im gleichen Jahr, 1879, berichtet auch P. T. Cleve [3], daß er aus 4 kg Gadolinit aus Ytterby und etwa 3 kg Yttritanit von Arendal, Norwegen, 0,8 bzw. 1,2 g des Oxids des neuen Elements gewonnen habe. Aus 10 kg Euxenit isolierte schließlich Nilson 1880 [4] einige Gramm Sc-Oxid von hohem Reinheitsgrad und stellte auf Grund der Bestimmung des Atomgewichts mit 44,0 für Scandium dessen Identität mit dem 1871 von D. Mendelejeff [5] vorausgesagten Ekabor fest. Cleve [6] stellte die von Mendelejeff für Ekabor vorausgesagten Eigenschaften den von ihm und Nilson [4] an Scandium gemachten Beobachtungen gegenüber:

Von Mendelejeff [5] für Ekabor, Eb vorausgesagte Eigenschaften:

Atomgewicht 44.  $\text{Eb}_2\text{O}_3$  als einziges Oxid. Dichte  $D = 3,5$ ; basischer als  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , weniger basisch als  $\text{Y}_2\text{O}_3$  und  $\text{MgO}$ . Es ist fraglich, ob es Ammonchlorid zersetzt.

Das Oxid wird unerschmelzbar sein und wird sich nach dem Glühen in Säuren lösen, wenn auch schwierig.

Die Salze werden farblos sein und mit  $\text{KOH}$  und  $\text{K}_2\text{CO}_3$  gallertartige Niederschläge bilden.

Die Salze werden nur schwer kristallisiert zu erhalten sein.

Das schwefelsaure Alkali-Eb-Doppelsalz wird kein Alaun sein.

Das wasserfreie Chlorid wird sich in Wasser unter  $\text{HCl}$ -Entwicklung zersetzen.

Von Cleve [6] und Nilson [4] an Scandium beobachtete Eigenschaften:

Atomgewicht 44. Einziges Oxid  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ . Dichte  $D = 3,86$ ; ist basischer als  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , weniger basisch als  $\text{Y}_2\text{O}_3$  und  $\text{MgO}$ . Es zersetzt Ammoniumchlorid nicht.

Das geglühte Oxid ist ein unlösliches Pulver, das sich nur schwer in Säuren löst.

Sc-Salze sind farblos, mit  $\text{KOH}$  und  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  bilden sie gallertartige Niederschläge.

Das Sulfat kristallisiert nur schwer aus.

Die Doppel-Alkali-Salze sind keine Alaune.

Das kristallisierte Sc-Chlorid zersetzt sich und gibt beim Erhitzen  $\text{HCl}$  ab.

Das Spektrum des von Nilson hergestellten, reinen Materials wurde von Thalén [7] untersucht. Eine erste quantitative Isolierung von Scandium aus Wolframit von Zinnwald führte R. J. Meyer [8] aus. Erst 1937 gelingt es W. Fischer und Mitarbeitern [9], metallisches Scandium herzustellen.

Lange Zeit nach seiner Entdeckung wurde Scandium für ein sehr seltenes Element gehalten, s. [8], bis 1908 W. Crookes [10] seine Anwesenheit in 10 von 53 untersuchten, meist Seltenerd-elemente als Hauptbestandteile enthaltenden Mineralien nachweisen konnte und G. Eberhard [11, S. 856/65] im gleichen Jahr durch Untersuchung von 366 Mineralien und Gesteinen aufzeigen konnte, daß Sc in kleinen Gehalten zu einem der verbreitetsten Elemente auf der Erde gehört und keineswegs nur an Seltenerdmineralien gebunden ist. Ausgehend von der Überlegung, daß das bis dahin angenommene seltene Vorkommen von Scandium auf der Erde in Widerspruch stehe zu dem

<sup>1)</sup> Der Begriff Seltenerd-elemente umfaßt hier die Elemente Y, La bis Nd und Sm bis Lu, wobei allerdings aus der Literatur nicht immer eindeutig zu ersehen ist, ob alle der genannten Elemente eingeschlossen sind. In Formeln wird das Symbol SE eingesetzt.

bereits zu jener Zeit bekannten, starken Auftreten der Sc-Linie in den Spektren der Sonne und von verschiedenen Sternen hatte Eberhard [11, S 852] diese systematische Suche nach Scandium durchgeführt und stellt zusammenfassend fest [11, S 865] „Das Hauptergebnis der in der Tabelle mitgeteilten Einzelresultate ist die überraschende Tatsache des allgemeinen Vorkommens des Scandium auf der Erde. In fast allen Gesteinen, aus denen die Gebirge der Erde oder besser die Hauptteile der Erdkruste selbst gebildet sind, ist Scandium erkennbar, es ist kein seltenes Element mehr, sondern hat vielmehr die allerwerteste und größte Verbreitung ebenso wie nur eine kleine Zahl der übrigen bekannten Elemente“ „Durch diesen Nachweis der allgemeinen Verbreitung des Scandium auf der Erde ist es nun nicht mehr befremdlich, sondern durchaus natürlich, daß Scandium überall in den Sternen und der Sonne zu finden ist“ Als weiteres Ergebnis seiner Untersuchungen stellt Eberhard fest, „daß, wie vorauszusehen war, unter den zur Zeit bekannten Mineralien sich ein eigentliches Scandiumerz, d. h. ein Mineral, welches Scandium als wesentlichen nicht bloß akzessorischen Bestandteil führt, von mir nicht gefunden worden ist“

Dennoch gab es — jedoch unerkannt — im Mineralogischen Institut der Universität Kristiania (heute Oslo) zur Zeit der Arbeiten von Crookes und Eberhard bereits eine Stufe mit einem eigenen Sc-Mineral. Diese Stufe war 1903 von P. Scheer in dem Beryllbruch am Hofe Landsverk, Evje, Saetersdal, Süd-Norwegen, gesammelt und als ?Epidot bezeichnet worden, s. [13]. Im Jahre 1910 wurde dann von O. Thortveit in einem kleinen Granitpegmatitgang am Ljoslandsknipan nördlich vom Hofe Ljosland im Kirchspiel Iveland, Saetersdal, Süd-Norwegen, ein Kristallbruchstück eines graulich-grünen Minerals mit starkem Glasglanz entdeckt. An diesem ihm von dem Finder überlassenen Material stellte J. Schetelig [12] durch erste chemische und physikalische Untersuchungen während eines Studienaufenthalts in Wien in den Jahren 1910 bis 1911 am Institut von Friedrich Becke fest, daß hier ein neues Mineral gefunden war, das Scandium als wesentlichen Bestandteil enthält. Er nannte das neue Mineral nach seinem Entdecker Thortveitit und identifizierte auch das von Scheer gefundene Mineral als Thortveitit [12], [13]. Der ersten Veröffentlichung über Thortveitit [12], der nur sehr wenig Untersuchungsmaterial zugrunde lag, so daß noch nicht alle Eigenschaften des neuen Minerals richtig erkannt wurden, folgt 1922 eine ausführliche Beschreibung [13], s. „Mineralien“ S 154/7. Inzwischen hatte A. Lacroix [14] ein mit Thortveitit identisches Mineral aus Madagaskar beschrieben, das er 1923 [15] nach seinem Fundort als Befanamit bezeichnete, da die ersten Analysen dieses Materials einige Abweichungen im Chemismus von dem norwegischen Thortveitit ergaben. Da jedoch spätere Analysen dies nicht bestätigen konnten, s. „Mineralien“ S 153/4, wurde dieser Name wieder gestrichen. Inzwischen ist Thortveitit noch von einigen anderen Vorkommen bekannt geworden, s. S 153.

Ein weiteres, von ihm Bazzit benanntes Scandium-Mineral fand E. Artini [16] in einer Druse in Granit von Baveno am Lago Maggiore, Oberitalien. Weitere Fundpunkte von diesem später als Sc-Beryll identifizierten Mineral s. „Mineralien“ S 157. 1959 wurden für die zunächst als Al-Phosphate beschriebenen Mineralien Kolbeckit und Sterrettit nachgewiesen, daß sie identisch sind und als Hauptkation Scandium enthalten, s. Kolbeckit S 152, der als weiteres Sc-Mineral anzusehen ist. Erst in neuester Zeit schließlich werden noch drei Sc-Mineralien, Magbasit 1965, Scandium-Perrierit 1966 und Scandium-Ixiolith 1969, gefunden und beschrieben, s. „Mineralien“ S 158/9, 152.

#### Literatur

- [1] L. F. Nilson (Compt. Rend. **88** [1879] 642/5). — [2] L. F. Nilson (Compt. Rend. **88** [1879] 645/8). — [3] P. T. Cleve (Bull. Soc. Chim. France [2] **31** [1879] 486/7). — [4] L. F. Nilson (Ber. Deut. Chem. Ges. **13** [1880] 1439/50). — [5] D. Mendelejeff (Liebig's Ann. Chem. Suppl. -Bd. **8** [1872] 133/229, 197/9).
- [6] P. Cleve (Compt. Rend. **89** [1879] 419/22). — [7] T. R. Thalén (Compt. Rend. **91** [1880] 45/9). — [8] R. J. Meyer (Z. Anorg. Allgem. Chem. **60** [1908] 134/51). — [9] W. Fischer, K. Brunger, H. Grieneisen (Z. Anorg. Allgem. Chem. **231** [1937] 54/62). — [10] W. Crookes (Proc. Roy. Soc. [London] A **80** [1908] 516/8).
- [11] G. Eberhard (Sitz-Ber. Kgl. Preuß. Akad. Wiss. **1908** 851/68). — [12] J. Schetelig (Zentr. Mineral. **1911** 721/6). — [13] J. Schetelig (in: W. C. Brogger, T. Vogt, J. Schetelig, Videnskapselsk. Skr. I Mat. Nat. Kl. **1922** Nr. 1, S. 51/87). — [14] A. Lacroix (Compt. Rend. **171** [1920] 421/3). — [15] A. Lacroix (Minéralogie de Madagascar, Bd. 3, Paris 1923, S. 311/2).
- [16] E. Artini (Atti Reale Accad. Lincei Rend. Classe Sci. Fis. Mat. Nat. [5] **24** [1915] 313/9).

## 2 Kosmochemie<sup>1)</sup>

*Cosmo-  
chemistry  
Scandium  
in the  
Cosmos*

### 2.1 Scandium im Kosmos

Allgemeine Literatur:

- D. H. Menzel, F. L. Whipple, G. de Vaucouleurs, Survey of the Universe, New Jersey 1970.  
C. Payne-Gaposchkin, K. Haramundanis, Introduction to Astronomy, 2. Aufl., New Jersey 1970 (1. Aufl. 1954).  
O. Struve, Astronomie, Berlin 1962.  
A. J. Cannon, E. C. Pickering, The Henry Draper Catalogue, in: Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College, Cambridge, **91** [1918] bis **99** [1924].

#### 2.1.1 Sternspektren

*Star Spectra*

##### 2.1.1.1 Überblick und Entstehung von Scandium im Kosmos

*Review and  
Origin of  
Scandium  
in the  
Cosmos*

Die Einteilung der Sterne kann nicht exakt vorgenommen werden, da in den Veröffentlichungen teilweise genaue Angaben fehlen. Im Abschnitt 2.1.1.2 werden die normalen Sterne beschrieben, die keine Besonderheiten aufweisen und unveränderlich sind; im Abschnitt 2.1.1.3 wird über besondere und veränderliche Sterne berichtet. Anschließend folgen Kapitel über alle weiteren Sterne sowie über Doppelsterne, über Sterne aus 3 Komponenten und über Sterne in Sternhaufen.

Die Sterne werden häufig durch eine Nummer gekennzeichnet, vor der die Buchstaben HD stehen. Sie sind die Abkürzung für Henry Draper, vgl. dazu die allgemeine Literatur. In diesem Katalog steht neben den Nummern noch die Spektralklasse, beispielsweise B 2 bei HD 124 448.

Sc wird im Kosmos meist als einfach ionisiertes Sc II, in geringerem Maße als atomares Sc I gefunden. Daneben tritt gelegentlich 2fach ionisiertes Sc III, 6fach ionisiertes Sc VII sowie ScO auf. Ein Literaturüberblick über das Auftreten von Sc I und Sc II in den Sternen wird von King [1] gegeben.

Die Bildung schwererer Elemente im Kosmos kann durch Neutroneneinfangprozesse erklärt werden. Protoneneinfang von  $^{12}\text{C}$  führt zu  $^{13}\text{C}$ , das bei der Reaktion  $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$  als Neutronenquelle wirkt. Es wird zwischen langsamen ( $s = \text{slow}$ ) und schnellen ( $r = \text{rapid}$ ) Prozessen unterschieden. Ausführliche Behandlung der  $s$ - und  $r$ -Prozesse für Elemente mit einer Massenzahl  $\geq 30$  bei Cameron [2], für Elemente mit einer Massenzahl  $\geq 20$  bei Burbidge u. a. [3].

Für  $^{45}\text{Sc}$  wird der mittlere Wirkungsquerschnitt für den Neutroneneinfang im  $s$ -Prozeß bei 60 keV zu 0.038 bestimmt aus berechneten und an Sternen der Population I beobachteten Werten, s. Cameron [4]. Über die Bildung von Sc im  $s$ -Prozeß in roten Riesensternen s. Burbidge u. a. [5]. Bei der Bildung von Sc in einigen besonderen Sternen vom A- und B-Typ kann es sich nur um einen  $r$ -Prozeß handeln, da Ba nicht im Überschuß vorhanden ist wie beim  $s$ -Prozeß, Fowler u. a. [6].

Literatur:

- [1] A. S. King (Trans. Electrochem. Soc. **89** [1946] 301/5). — [2] A. G. W. Cameron (in: L. H. Ahrens, F. Press, K. Rankama, S. K. Runcorn, Physics and Chemistry of the Earth, Bd. III, New York – London – Paris 1959, S. 199/223). — [3] E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, W. A. Fowler, F. Hoyle (Rev. Mod. Phys. **29** [1957] 547/650, 580). — [4] A. G. W. Cameron (Astrophys. J. **130** [1959] 429/51, 446). — [5] E. M. Burbidge, G. R. Burbidge (Astrophys. J. **126** [1957] 357/85).  
[6] W. A. Fowler, E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, F. Hoyle (Astrophys. J. **142** [1965] 423/50).

##### 2.1.1.2 Normale Sterne

*Normal Stars*

Die normalen Sterne werden in die 6 Spektralklassen B, A, F, G, K und M eingeteilt, die einer fallenden Sterntemperatur entsprechen.

##### 2.1.1.2.1 Sterne vom B-Typ

*Stars of the  
B-Type*

Im Schalenspektrum von HD 217050 (B 3-Typ) werden 5 Linien von Sc II beobachtet [1]. Auch Pleione vom Typ B 8 enthält Sc II in der Schale des Sterns [2]. Das Spektrum von HD 192954 = MWC 335 vom Typ B 9 n weist 4 Absorptionslinien von Sc II auf [3]. In den beiden Be-Sternen

<sup>1)</sup> Der Begriff Seltenerdelemente umfaßt hier die Elemente Y, La bis Nd und Sm bis Lu, wobei allerdings aus der Literatur nicht immer eindeutig zu ersehen ist, ob alle der genannten Elemente eingeschlossen sind. In Formeln wird das Symbol SE eingesetzt.

$\gamma$  Cassiopeiae und  $\gamma$  Ophiuchi wird Sc II durch die Emissionslinie bei 4374.5 Å ermittelt, in dem 2. Stern auch noch durch die Emissionslinie bei 4314.1 Å [4]. In BD + 11° 4673, ebenfalls vom Be-Typ, wird Sc II nur in Spuren gefunden, Sc I konnte durch einige schwache Linien identifiziert werden [5].

Literatur:

[1] E. M. Burbidge, G. R. Burbidge (Astrophys. J. **113** [1951] 703). — [2] A. B. Underhill (Astrophys. J. **110** [1949] 166/81, 167). — [3] A. A. Broyles (Astrophys. J. **97** [1943] 234/51). — [4] O. Struve, P. Swings (Astrophys. J. **75** [1932] 161/84, 166). — [5] P. W. Merrill (Astrophys. J. **113** [1951] 605/23).

Stars of the  
A-Type

#### 2.1.1.2.2 Sterne vom A-Typ

Vgl. auch „Metalllinien-Sterne“ S. 10.

Für 70 helle A-Sterne wird von Smith [1] das Verhältnis Sc II/Sr II ermittelt, aus dem sich ergibt, daß 59% normale A-Sterne, 31% Am- und 10% Ap-Sterne sind.

Auf folgenden Sternen vom A-Typ wird Sc II nachgewiesen: auf den Zwergen  $\gamma$  Geminorum und Sirius [2]; durch 9 Linien in den scharflinigen Spektren von  $\gamma$  Geminorum, HD 2421,  $\Theta$  Vir und  $\circ$  Peg [3]; auf den Sternen  $\gamma$  Geminorum,  $\Theta$  Leonis, 68 Tauri und 15 Vulpeculae [4], auf  $\gamma$  Geminorum (A1 V) [5], auf den Riesen HD 86986, HD 109995 und HD 161 817 [6]; durch 2 Linien bei 4246.83 und 4415.56 Å auf HD 161 817 [7]. Auf HD 161 817 beträgt die Häufigkeit  $\lg N(\text{Sc}) = 1.72 \pm 0.4$ , bezogen auf  $\lg N(\text{H}) = 12.00$  [8]. Auch der späte A- oder frühe F-Stern + 39°4926 enthält Sc II; die Linie 4246.83 Å gehört zum Übergang  $a^1D-z^1D^{\circ}$ , die Linien 4415.56 und 4374.46 Å zum Übergang  $a^3F-z^3F^{\circ}$ , die Linien 4314.08, 4320.75 und 4325.01 Å zum Übergang  $a^3F-z^3D^{\circ}$  [9].

Auf HD 109995 vom Typ A0 [10] und HD 190 073 vom Typ A0 [11] wird Sc II nur durch die Linie bei 4246 Å nachgewiesen. Sc II ist anwesend auf  $\eta$  Leonis (A0-Riese) und  $\alpha$  Lyrae (A0-Zwerg) [12], auf  $\alpha$  Lyrae (A0 V) und  $\alpha$  CMa (A1 V) [13]. Auf  $\alpha$  Lyrae (A0) beträgt die Häufigkeit  $\lg N(\text{Sc}) = 3.4$  bezogen auf  $\lg N(\text{H}) = 12.00$  [14]. Auch  $\circ$  Pegasi (A1 V) enthält Sc II [15].

Die Anwesenheit von Sc II auf dem Überriesen  $\alpha$  Cygni vom Typ A2 wird von mehreren Autoren [5], [12], [16 bis 19] festgestellt. Auf dem A2-Zwerg  $\epsilon$  Serpentis finden Morgan [20] und Morgan, Farnsworth [21], auf 48 Librae = HD 142983 vom A2- oder A5-Typ findet Struve [22] Sc II.

Sc II ist auch vorhanden auf HD 190 073 vom Typ A4 [23] und auf dem Schalenstern 14 Comae, einem Riesen vom A5-Typ [24], [25].

Literatur:

[1] M. A. Smith (Astron. J. **76** [1971] 896/900). — [2] L. H. Aller (Astrophys. J. **96** [1942] 321/43). — [3] P. S. Conti, S. E. Strom (Astrophys. J. **154** [1968] 975/82). — [4] K. O. Wright, E. K. Lee, T. V. Jacobson, J. L. Greenstein (Publ. Dominion Astrophys. Obs. Victoria B.C. **12** [1965] 173/291). — [5] W. Buscombe (Astrophys. J. **114** [1951] 73/97).

[6] K. Kodaira, J. L. Greenstein, J. B. Oke (Astrophys. J. **155** [1969] 525/36). — [7] L. H. Aller, J. L. Greenstein (Astrophys. J. Suppl. Ser. **5** Nr. 46 [1960] 139/86). — [8] K. Kodaira (Z. Astrophysik **59** [1964] 139/81, 171). — [9] K. Kodaira, J. L. Greenstein, J. B. Oke (Astrophys. J. **159** [1970] 485/512, 501). — [10] G. Wallerstein (Astrophys. J. **140** [1964] 214/20).

[11] P. W. Merrill (Astrophys. J. **77** [1933] 51/5). — [12] O. Struve (Astrophys. J. **90** [1939] 699/726). — [13] S. E. Strom, O. Gingerich, K. M. Strom (Astrophys. J. **146** [1966] 880/913, 896). — [14] K. Hunger (Z. Astrophysik **49** [1960] 129/50, 149, **36** [1955] 42/97, 93). — [15] L. A. Maestre, A. J. Deutsch (Astrophys. J. **134** [1961] 562/7).

[16] C. Chadeau (Ann. Astrophys. **18** [1955] 100/12). — [17] E. R. Mustel, M. E. Boyarchuk (Astron. Zh. **36** [1959] 762/5). — [18] Su-Shu Huang, O. Struve (Astrophys. J. **121** [1955] 84/101, 95). — [19] O. Struve, P. Swings (Astrophys. J. **94** [1941] 344/52). — [20] W. W. Morgan (Astrophys. J. **77** [1933] 77/102).

[21] W. W. Morgan, G. Farnsworth (Astrophys. J. **76** [1932] 299/308). — [22] O. Struve (Astrophys. J. **98** [1943] 98/115). — [23] P. W. Merrill (Astrophys. J. **113** [1951] 55/9). — [24] A. B. Underhill (Publ. Dominion Astrophys. Obs. Victoria B.C. **9** [1953] 237/49). — [25] W. W. Morgan (Astrophys. J. **76** [1932] 144/8).

Stars of the  
F-Type

#### 2.1.1.2.3 Sterne vom F-Typ

Vgl. auch „Metalllinien-Sterne“ S. 10.

Die 1957 aufgenommenen Spektrogramme von  $\epsilon$  Aurigae (F-Typ) zeigen etliche Doppellinien, die durch Absorption in der Sternatmosphäre und in einer diese umgebenden Schale bedingt sind

[1]. Bei den Überriesen 89 Herculis und HD 161 796 vom Typ F Ia ist die Häufigkeit  $\lg N(\text{Sc})$  um 2.8 geringer als  $\lg N(\text{Fe})$ , bezogen auf  $\lg N(\text{H}) = 12.00$  [2]. HD 161 227 (F0 II) zeigt nur sehr schwache Linien von Sc II [3], Sc II wird außerdem gefunden auf 9 Aurigae (F0 V) [4], auf BD 61°2565 (F0 V) [5], auf Grund der Linie bei 4325.01 Å auf  $\beta$  Cassiopeiae (F2 IV) [6], auf 89 Herculis (F2 Ia) und HD 161 796 (F3 Ib), auf zwei Überriesen in hohen galaktischen Breiten [7] sowie auf Procyon, einem typischen Vertreter der Klasse d F4, der auch Sc I enthält [8]. Auch auf  $\Theta$  Draconis (F8 IV) und HR 7955 (F8 IV) [9] ist Sc II nachweisbar. Die starken Linien von Sc II im Spektrum von  $\rho$  Cassiopeiae (F8 Ia) stammen aus der Photosphäre des Sterns [10]. Die aus 15 Linien von Sc II berechnete Häufigkeit für  $\beta$  Virginis (F8 V) = HD 102870 = BSC 4540 = GC 16215 relativ zur Sonne beträgt 0.40 [11]. Für den Unterzweig HD 140283 (F5) beträgt die aus Wachstumskurven ermittelte Häufigkeit  $\lg N(\text{Sc}) = 1.41 \pm 0.5$ , bezogen auf  $\lg N(\text{H}) = 12.00$  [12]. Für den F- oder G-Unterzweig  $\mu$  Cassiopeia liegt die logarithmische Häufigkeit bei 9.35 für Sc I und bei 9.27 für Sc II, ebenfalls bezogen auf  $\lg N(\text{H}) = 12.00$  [13].

Literatur:

[1] M. Hack (Astrophys. J. **129** [1959] 291/313, 293). — [2] H. A. Abt (Astrophys. J. **131** [1960] 99/110). — [3] G. W. Preston (Publ. Astron. Soc. Pacific **83** [1971] 48). — [4] J. Provost, C. van't Veer-Menneret (Astron. Astrophys. **2** [1969] 218/39). — [5] N. Martin, E. Rebeiro (Compt. Rend. B **272** [1971] 258/60).

[6] C. Payne-Gaposchkin (Publ. Astron. Soc. Pacific **69** [1957] 46/53). — [7] L. Searle, W. L. W. Sargent, J. Jugaku (Astrophys. J. **137** [1963] 268/79). — [8] J. W. Swensson (Astrophys. J. **103** [1946] 207/48, 245). — [9] P. Wellmann (Z. Astrophysik **43** [1957] 1/19). — [10] W. P. Bidelman, A. McKellar (Publ. Astron. Soc. Pacific **69** [1957] 31/40).

[11] B. Baschek, H. Holweger, O. Namba, G. Traving (Z. Astrophysik **65** [1967] 418/55, 447). — [12] B. Baschek (Z. Astrophysik **48** [1959] 95/139, 133). — [13] J. G. Cohen (Astrophys. J. **154** [1968] 179/84).

#### 2.1.1.2.4 Sterne vom G-Typ

*Stars of the  
G-Type*

Von Wallerstein [1] wird für 31 G-Unterzweige der Logarithmus der Häufigkeit von Sc relativ zu Fe angegeben, der aus den gemessenen Absorptionenlinien von Sc II, Fe I und Fe II ermittelt wird. Die gleichen Untersuchungen werden von Helfer u. a. [2] an dem G-Unterriesen  $\zeta$  Herculis und den 3 G-Zwergen 99 Her,  $\beta$  Com und 85 Peg unter Verwendung der Linien von Sc I und Sc II durchgeführt. Von Struve, Zebergs [3] wird Sc II auf 85 Pegasi = HD 224930 vom Typ G2 V nur durch die Linie bei 4247 Å identifiziert. Die relative Häufigkeit von Sc II auf 85 Pegasi relativ zur Sonne beträgt 0.57 [4]. Die Häufigkeit von Sc auf den G-Zwergen 20 Leo Minoris, HD 30649 und HD 187923 ist doppelt so groß wie auf der Sonne [5]. Auf den G-Unterzweigen HD 19445 und HD 219617 ist Sc II vorhanden [6]. Dies wurde bereits von Aller, Greenstein [7] gefunden, die außerdem Sc II durch 2 Linien bei 4246.83 und 4415.56 Å auf dem G-Unterzweig HD 140283 nachweisen. Ferner wird Sc II festgestellt auf dem roten Riesen HD 122563 (G0) und HD 165195 (G5) [8] sowie auf  $\gamma$  Cygni vom Typ cG0 [9]. Sc I und Sc II ist vorhanden auf den G-Sternen  $\gamma$  Serpentis und  $\mu$  Herculis [10] und auf  $\epsilon$  Virginis vom Typ G8 III [11].

Literatur:

[1] G. Wallerstein (Astrophys. J. Suppl. Ser. Nr. 46 [1962] 407/44, 427). — [2] H. L. Helfer, G. Wallerstein, J. L. Greenstein (Astrophys. J. **136** [1963] 97/117). — [3] O. Struve, V. Zebergs (Astrophys. J. **130** [1959] 134/6). — [4] G. Wallerstein, H. L. Helfer (Astrophys. J. **129** [1959] 720/3). — [5] G. Wallerstein, H. L. Helfer (Astrophys. J. **133** [1961] 562/5).

[6] J. G. Cohen, S. E. Strom (Astrophys. J. **151** [1968] 623/36, 633). — [7] L. H. Aller, J. L. Greenstein (Astrophys. J. Suppl. Ser. 5 Nr. 46 [1960] 139/86). — [8] G. Wallerstein, J. L. Greenstein, R. Parker, H. L. Helfer, L. H. Aller (Astrophys. J. **137** [1963] 280/300). — [9] W. S. Adams, A. H. Joy (Proc. Natl. Acad. Sci. U.S. **13** [1927] 393/6). — [10] K. O. Wright, E. K. Lee, T. V. Jacobson, J. L. Greenstein (Publ. Dominion Astrophys. Obs. Victoria B.C. **12** [1965] 173/291).

[11] G. Cayrel, R. Cayrel (Astrophys. J. **137** [1963] 431/69, 433).

#### 2.1.1.2.5 Sterne vom K-Typ

*Stars of the  
K-Type*

Sc I und Sc II werden auf dem K0-Riesen  $\alpha$  Boötis und dem K0-Zwerg 70 Ophiuchi A gefunden [1]. Von Hacker [2] wird auf Arcturus =  $\alpha$  Boötis (g K0) nur Sc II festgestellt. Sc I und Sc II sind vorhanden auf  $\psi$  Ursae Majoris (K1 III) und  $\chi$  Ursae Majoris (K0 III) [3] sowie auf dem K-Riesen

$\alpha$  Serpentis und  $\alpha$  Ursae Majoris [4]. Der rote Riese HD 221 170 vom Typ K0 enthält nur Sc II [5]. Auf Coudé-Spektrogrammen von 6 K-Riesen hoher Geschwindigkeit und 10 K-Riesen niedriger Geschwindigkeit wird die Absorptionslinie von Sc II bei 4246.83 Å beobachtet [6].

Literatur:

[1] S. E. A. van Dijke Beatty (Astrophys. J. **113** [1951] 93/9, **104** [1946] 27/46). — [2] S. G. Hacker (Astrophys. J. **88** [1938] 65/83, 66, 74). — [3] Y. Yamashita (Publ. Dominion Astrophys. Obs. Victoria B.C. **12** [1965] 455/508). — [4] L. Gratton (Astrophys. J. **115** [1952] 346/401, 352). — [5] G. Wallerstein, J. L. Greenstein, R. Parker, H. L. Helfer, L. H. Aller (Astrophys. J. **137** [1963] 280/300).

[6] M. Schwarzschild, B. Schwarzschild, L. Searle, A. Meltzer (Astrophys. J. **125** [1957] 123/38).

*Stars of the  
M-Type*

#### 2.1.1.2.6 Sterne vom M-Typ

Sc I und Sc II werden nachgewiesen auf dem M0-Riesen  $\beta$  Andromedae und dem M0-Zwerg Lalande 21 185 von van Dijke Beatty [1], auf dem M-Riesen  $\beta$  Pegasi von Davis [2] und auf dem Überriesen Antares =  $\alpha$  Scorpii vom Typ M1 Ib von Davis [3]. Im Coudé-Spektrogramm des M-Überriesen  $\alpha$  Orionis ist ein aufgelöstes Doublett von Sc II bei 4246.84 Å erkennbar [4]. Außerdem wird Sc auf folgenden Sternen festgestellt:  $\mu$  U Maj (M0),  $\mu$  Ceph (M2),  $\mu$  Gemi (M3),  $\rho$  Pers (M4), 57 Pisc (M4) und  $\alpha$  Herc (M5) [5]. Auch  $\sigma$  Ceti (M6e) und R Leonis (M6e) enthalten Sc [6].

Literatur:

[1] S. E. A. van Dijke Beatty (Astrophys. J. **113** [1951] 93/9). — [2] D. N. Davis (Astrophys. J. **106** [1947] 28/46, 37). — [3] D. N. Davis (Astrophys. J. **87** [1938] 335/51, **89** [1939] 41/83). — [4] W. S. Adams (Astrophys. J. **123** [1956] 189/200, 190, **93** [1941] 11/23, 20). — [5] Y. Fujita, Y. Yamashita, F. Kamijo, T. Tsuji, K. Utsumi (Publ. Dominion Astrophys. Obs. Victoria B.C. **12** [1965] 293/316).

[6] W. Buscombe, P. W. Merrill (Astrophys. J. **116** [1952] 525/35, 528).

*Peculiar and  
Variable  
Stars  
Some  
Peculiar  
Stars*

#### 2.1.1.3 Besondere und veränderliche Sterne

##### 2.1.1.3.1 Einige besondere Sterne

Sc II ist vorhanden auf dem A0p-Zwerg  $\alpha$  Canum Venaticorum [1], [2], auf 10 Aquilae = HD 176 232 vom Typ A4 p [3] und auf dem relativ kalten Ap-Stern HD 204 411 [4]. Bei dem Ap-Stern 14 Comae Berenices stammen alle beobachteten Linien von Sc II vom Grundzustand  $a^3D$  oder von niedrigen metastabilen Niveaus und sind sehr stark, außerdem wird Sc II auf dem besonderen Stern  $\epsilon$  Aurigae, einem cF2-Überriesen, festgestellt [5]. Für den Ap-Stern  $\times$  Cancri beträgt die logarithmische Häufigkeit von Sc II 4.17 für die Linie 3572.52 Å und 4.30 für die Linie 3630.74 Å, bezogen auf  $\lg N(H) = 12.00$  [6]. Bei dem Mn-Stern  $\iota$  Coronae Borealis vom Ap-Typ wird für die logarithmische Häufigkeit von Sc II der Wert 2.4 gefunden [7]. Sc II wird auch nachgewiesen auf dem Mn-Sc-Stern  $\phi$  Herculis = HD 145 389 = HR 6023 vom Ap-Typ, der ungewöhnlich starke Linien von Sc II enthält [8], [9], auf dem Hg-Mn-Stern  $\gamma$  Corvi vom Ap-Typ [10], auf dem Mn-Stern HR 8349 vom B8 III p-Typ [11], auf 3 Centauri A (B4 p) durch die Linie bei 3613.836 Å [12] sowie auf dem besonderen Stern HD 160 529 (A4se) [13], Sc II ferner auf 7  $\epsilon$  Aurigae vom Typ F5 p [14], auf  $\zeta$  Capricorni, einem besonderen G-Stern [15], auf 37 Comae Berenices vom Typ K1 p [16] sowie auf  $\phi$  Aurigae = HD 35 620 vom Typ K3 p, bei dem die logarithmische Häufigkeit  $-0.38$  für Sc I und  $-0.68$  für Sc II beträgt bezüglich  $\lg N(H) = 12.00$  [17]. Für den bereits erwähnten Stern 3 Centauri A (B5 p) beträgt die logarithmische Häufigkeit von Sc  $< +0.6$  [18].

Literatur:

[1] O. Struve (Astrophys. J. **90** [1939] 699/726). — [2] C. C. Kiess (Publ. Obs. Univ. Michigan **3** [1919/23] 106/30). — [3] L. H. Auer (Astrophys. J. **139** [1964] 1148/62). — [4] W. L. W. Sargent, K. M. Strom, S. E. Strom (Astrophys. J. **157** [1969] 1265/78, 1276). — [5] P. Swings, O. Struve (Astrophys. J. **94** [1941] 291/319, 316).

[6] M. F. Aller (Astron. Astrophys. **6** [1970] 67/84). — [7] J. E. Ross, L. H. Aller (Astrophys. J. **161** [1970] 189/97, 194). — [8] R. E. Zimmermann, L. H. Aller, J. E. Ross (Astrophys. J. **161** [1970] 179/88). — [9] L. H. Aller, J. E. Ross, R. E. Zimmermann (Astrophys. Space Sci. **8** [1970] 267/74). — [10] A. Cowley, C. Cowley (Publ. Astron. Soc. Pacific **83** [1971] 689).

[11] G. Wallerstein, D. Hannibal (Publ. Astron. Soc. Pacific **75** [1963] 72/3). — [12] J. Jugaku, W. L. Sargent (Astrophys. J. **138** [1963] 90/6). — [13] P. Swings, O. Struve (Astrophys. J. **91**

[1940] 546/620, 594, 608). — [14] E. B. Frost, O. Struve, C. T. Elvey (Publ. Yerkes Obs. 7 Tl. II [1932] 52 S.). — [15] R. H. Garstang (Publ. Astron. Soc. Pacific 64 [1952] 227).

[16] Y. Yamashita (Publ. Dominion Astrophys. Obs. Victoria B.C. 12 [1965] 455/508). — [17] G. Cayrel de Strobel (in: L. H. Ahrens, The Origin and Distribution of the Elements, Oxford – London – Edinburgh – New York – Toronto – Sydney – Paris – Braunschweig 1968. S. 239/43). — [18] W. A. Fowler, E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, F. Hoyle (Astrophys. J. 142 [1965] 423/50, 426).

### 2.1.1.3.2 Magnetisch Veränderliche

*Magnetic  
Variable  
Stars*

$\alpha^2$  Canum Venaticorum = HD 112413 ist ein magnetisch Veränderlicher vom Typ A0p mit einer Periode von 5.47 Tagen, in deren Mitte die Intensität der Linien von Sc I ein Minimum aufweist [1]. Ein Literaturüberblick über ältere Untersuchungen dieses Sterns wird von Struve [2] gegeben. Linien von Sc II bei diesem Stern werden beobachtet von [3 bis 8]. Etliche Autoren finden nur Seltenerdelemente, vgl. dazu „Seltenerdelemente“ A 3, Kosmochemie. Die logarithmische Häufigkeit für Sc beträgt  $-0.2$  für  $\alpha^2$  Canum Venaticorum (A0p, Si-Eu-Cr),  $+0.4$  für  $\beta$  Coronae Borealis (F0p, Eu-Cr-Sr),  $+0.7$  für  $\gamma$  Equulei (F0p, Eu-Cr-Sr) und  $< +0.6$  für 73 Draconis (A2p, Si-Eu-Cr) [9]. Von Fowler u. a. [10] werden für die logarithmische Häufigkeit von Sc ebenfalls  $-0.2$  für  $\alpha^2$  Canum Venaticorum,  $+0.4$  für  $\beta$  Coronae Borealis und  $+0.7$  für  $\gamma$  Equulei angegeben. Von Morgan [11] wird bei 73 Draconis Sc II nur als Komponente geblendeter Linien gefunden; von Preston [12] wird die Existenz von Sc für möglich gehalten.

Bei dem besonderen magnetischen Stern HR 1732, der zum sogenannten „Si- $\lambda$  4200“-Typ gehört, wird Sc II nur durch die Linie bei 4246 Å nachgewiesen [13].

Literatur:

[1] G. R. Burbidge, E. M. Burbidge (Astron. J. 59 [1954] 318/9). — [2] O. Struve (Proc. Am. Phil. Soc. 85 [1942] 349/58, 354). — [3] Z. N. Chumak (Tr. Astrofiz. Inst. Akad. Nauk Kaz.SSR 16 [1971] 70/6 nach C. A. 76 [1972] Nr. 40 072). — [4] J. G. Cohen, A. J. Deutsch, J. L. Greenstein (Astrophys. J. 156 [1969] 629/51). — [5] G. R. Burbidge, E. M. Burbidge (Astrophys. J. Suppl. Ser. 1 [1954] 431/77, 433).

[6] O. Struve, P. Swings (Astrophys. J. 98 [1943] 361/497, 364). — [7] W. S. Tai (Observatory 63 [1940] 134/5). — [8] W. S. Tai (Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 100 [1940] 94/127, 97). — [9] W. L. W. Sargent (Ann. Rev. Astronomy Astrophys. 2 [1964] 297/326, 305). — [10] W. A. Fowler, E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, F. Hoyle (Astrophys. J. 142 [1965] 423/50, 426).

[11] W. W. Morgan (Astrophys. J. 77 [1933] 77/102). — [12] G. W. Preston (Astrophys. J. 150 [1967] 871/6). — [13] M. Jaschek, Z. L. Garcia (Publ. Astron. Soc. Pacific 79 [1967] 62/5).

### 2.1.1.3.3 Novae und Supernovae

*Novae and  
Supernovae*

Während der Evolution der Nova RS Ophiuchi nach der Explosion von 1958 wird die verbotene Emissionslinie bei 4823.5 Å beobachtet, die wahrscheinlich zu Sc VII gehört entsprechend dem Übergang  $^2D_{3/2} - ^2P_{3/2}$  [1]. Im Spektrum der am 10. 7. 1971 entdeckten Nova Cephei 1971 wurden am 14. 7. 1971 Linien von Sc II gefunden [2]. 5 Linien von Sc II enthielt das Spektrum der Nova Lacertae 1936 vom 23. 6. bis 20. 10. 1936 [3]. Das Emissionsspektrum der Nova Puppis enthielt am 14., 15. und 16. 11. 1942 ebenfalls 5 Sc II-Linien [4]. Die Nova Cygni (19<sup>h</sup>50<sup>m</sup>6, +36°25'; 1950) hatte am 11., 14., 19. und 26. 6. 1948 bereits ihr Maximum überschritten; von Sc II wurden 4 Absorptionslinien nachgewiesen [5]. Die vom 7. 7. bis 20. 8. 1954 untersuchte Nova Sagittarii 1954 enthält im Absorptionsspektrum Linien von Sc II. Am 7. 7. 1954 ähnelt das Spektrum dem eines Überriesen vom F-Typ, nur sind alle Linien ziemlich diffus [6]. Die zwischen September und Dezember 1936 aufgenommenen Spektrogramme der langsamen Nova V 356 Aquilae vom RR Pictoris-Typ zeigen 3 Sätze von Absorptionslinien, die zum Hauptspektrum, zu einem diffusen Spektrum und zum Orion-Spektrum gehören. Im Hauptspektrum wird Sc II durch 4247 Å nachgewiesen [7]. Linien von Sc II sind auch vorhanden im Spektrum der langsamen Supernova von 1961 vom V-Typ in NGC 1058 [8] sowie in den Spektren einer Supernovae vom Typ I [9].

Literatur:

[1] J. Dufay, M. Bloch, C. Bertaud, M. Dufay (Colloq. Intern. Centre Natl. Rech. Sci., Paris 1963, Nr. 121, S. 18/48, 13). — [2] C. Fehrenbach, Y. Andriolat (Compt. Rend. B 273 [1971] 572/6). — [3] M. Bloch (Compt. Rend. 204 [1937] 1055/6). — [4] M. Waldmeier (Z. Astrophysik 22 [1943] 117/21). — [5] A. H. Joy (Publ. Astron. Soc. Pacific 60 [1948] 268/9).

[6] M. W. Feast (Monthly Notices Roy. Astron. Soc. **115** [1955] 461/7). — [7] D. B. McLaughlin (Astrophys. J. **122** [1955] 417/28). — [8] D. Branch, J. L. Greenstein (Astrophys. J. **167** [1971] 89/100). — [9] E. R. Mustel (Astron. Zh. **49** [1972] 15/30 nach C.A. **77** [1972] Nr. 41 212).

*Stars of  
Population  
II;  
Cepheids*

**2.1.1.3.4 Sterne der Population II, Cepheide**

Auf den Spektrogrammen von 4 K-Riesen der Population II, und zwar den Kugelhaufen M 13 und M 92, dem galaktischen Haufenstern M 41 und dem Stern hoher Geschwindigkeit HDE 232 078, wird Sc II durch 2 Linien bei 4246.83 und 4320.75 Å nachgewiesen [1]. Auf den Sternen HD 84 123, HD 161 817 und 29 Cyg ist Sc II nur durch die Linie bei 4246.83 Å feststellbar, auf 95 Leo durch 3 Linien. Die logarithmische Häufigkeit von Sc II auf den ersten 3 Sternen beträgt 1.8, 0.4 und 0.6 relativ zum letztgenannten Stern [2]. Für den Unterzweig Groombridge 1830 = HD 103 095 vom Typ G 8 VI beträgt die logarithmische Häufigkeit relativ zu Fe  $-0.11$  für Sc I und  $+0.21$  für Sc II, bezogen auf  $\lg N(H) = 12.00$  [3].

W Virginis, ein Cepheid der Population II, enthält Sc II, nachgewiesen durch die beiden Linien bei 4246.83 und 4374.46 Å [4].

Das Spektrum des klassischen Cepheids X Cygni zeigt eine Verdoppelung einiger Absorptionslinien von Sc II, wobei die schwächere, nach längeren Wellenlängen verschobene Komponente zum Grundzustand des Elements gehört [5]. X Cygni ist im Lichtmaximum vom Typ F 7 Ib. In den Phasen 0.022 und 0.125 der 16.4 Tage dauernden Periode zeigt die Intensität der Linien von Sc II eine leichte, anomale Erhöhung [6]. TV Camelopardalis ist ein Cepheid von ungewöhnlich großer Lichtamplitude; Sc II wird durch die beiden Linien bei 4246.8 und 4325.0 Å nachgewiesen [7]. Der Cepheid  $\gamma$  Carinae wird in den Phasen 0.93 und 0.10 relativ zu  $\delta$  Canis Majoris (F 8 Ia) untersucht; beide Sterne sowie  $\alpha$  Persei (F 5 Ib) enthalten Sc II [8].

Literatur:

- [1] H. L. Helfer, G. Wallerstein, J. L. Greenstein (Astrophys. J. **129** [1959] 700/19, 703). — [2] E. M. Burbidge, G. R. Burbidge (Astrophys. J. **124** [1956] 116/29, 118). — [3] J. Tomkin (Monthly Notices Roy. Astron. Soc. **156** [1972] 349/59). — [4] T. Barker, L. D. Baumgart, D. Butler, K. M. Cudworth, E. Kemper, R. P. Kraft, J. Lorre, N. K. Rao, G. H. Reagan, D. R. Soderblom (Astrophys. J. **165** [1971] 67/86, 75). — [5] R. P. Kraft (Publ. Astron. Soc. Pacific **68** [1956] 137/41). — [6] R. P. Kraft (Publ. Astron. Soc. Pacific **66** [1954] 136/40). — [7] H. A. Abt, P. S. Osmer, R. P. Kraft (Astrophys. J. **145** [1966] 479/86). — [8] R. A. Bell, A. W. Rodgers (Monthly Notices Roy. Astron. Soc. **142** [1969] 161/99).

*Stars of the  
S-Type*

**2.1.1.3.5 Sterne vom S-Typ**

Im Spektrum von R Andromedae 001 838, einem lang-periodisch Veränderlichen vom Typ Se, treten Absorptionslinien von Sc I und Sc II auf [1 bis 5]. Das anomal niedrige Maximum im Jahre 1957 von R Cygni 193 449, einem lang-periodisch Veränderlichen vom S-Typ, äußerte sich im Spektrum durch das Auftreten einer großen Zahl scharfer Emissionslinien von Sc I und Sc II [6]. Bei FU Monocerotis, einem roten Veränderlichen vom Typ S, wird Sc I nur durch die Absorptionslinie bei 6210 Å identifiziert [7]. In den Spektren der 4 Sterne V Cancri (S 2, 9 e), T Sgr (S 5, 8 e), R And (S 6, 6 e) und HR 1105 (S 5, 3) ist nur eine Linie von Sc I bei 4779.34 Å vorhanden [8]. In den Spektren von 13 Sternen vom Typ S werden von Merrill [9] Absorptionslinien von Sc entdeckt.

Auf HD 22 649 (S 5, 3) konnte ScO durch starke Absorptionsbanden nachgewiesen werden [10].

Literatur:

- [1] P. W. Merrill, J. L. Greenstein (Publ. Astron. Soc. Pacific **70** [1958] 98/101). — [2] P. W. Merrill, J. L. Greenstein (Astrophys. J. Suppl. Ser. **2** [1956] 225/40). — [3] W. Buscombe, P. W. Merrill (Astrophys. J. **116** [1952] 525/35). — [4] P. W. Merrill (Astrophys. J. **107** [1948] 303/26). — [5] P. W. Merrill (Astrophys. J. **105** [1947] 360/75). — [6] A. J. Deutsch, P. W. Merrill (Astrophys. J. **130** [1959] 570/6). — [7] R. G. Teske (Publ. Astron. Soc. Pacific **68** [1956] 520/30). — [8] D. N. Davis (Astrophys. J. **167** [1971] 327/30). — [9] P. W. Merrill (Astrophys. J. **116** [1952] 21/6). — [10] Y. Fujita, Y. Yamashita, F. Kamijo, T. Tsuji, K. Utsumi (Publ. Dominion Astrophys. Obs. Victoria B. C. **12** [1965] 293/316).

### 2.1.1.3.6 Weitere Veränderliche

Other  
Variable  
Stars

Das Absorptionsspektrum des lang-periodisch Veränderlichen  $\chi$  Cygni enthält Sc I [1]. Sc I und Sc II werden festgestellt im Absorptionsspektrum des lang-periodisch Veränderlichen R Leonis 094211 vom Typ M 8 e [2 bis 4] sowie im Absorptionsspektrum von  $\circ$  Ceti vom Typ M 6 e, dem hellsten aller lang-periodisch Veränderlichen [5], [4]. Von Davis [6] wird bei  $\circ$  Ceti die stärkste Bande des  $^2\Sigma$ - $^2\Sigma$ -Systems von ScO bei 4858 Å beobachtet. In einigen Mira-Veränderlichen vom M-Typ werden Differenzen in den Verhältnissen der Absorptionsbanden von ScO, YO, AlO und TiO aufgezeigt; von ScO wird die Bande bei 4858 Å und eine weitere bei 6036 bis 6079 Å gefunden [7]. Von Joy [8] wird bei Mira Ceti neben 4 Absorptionslinien die Hauptlinie der Emission von Sc I bei 3907.476 Å entsprechend dem Übergang  $a^2D-y^2F^o$  entdeckt.

Die  $\delta$  Scuti-Sterne,  $\rho$  Pup,  $\delta$  Sct und  $\delta$  Del, sind kurz-periodisch Veränderliche, in denen die Sc/Fe-Verhältnisse niedriger liegen als im Standardstern  $\eta$  Lep vom F0 V-Typ [9]. Die logarithmische Häufigkeit von Sc in VZ Cancri, einem kurz-periodisch Veränderlichen, beträgt  $-0.32$  relativ zu  $\alpha$  C Mi, einem Metalllinien-Stern vom Typ F5 IV [10].

Sc I (6210.67 Å) und Sc II sind vorhanden auf den halbregelmäßig Veränderlichen **SX Herculis** und **TY Virginis** der Halo-Population, die Sternen vom M 3-Typ ähnlich sind [11]. Der **unregelmäßig** Veränderliche **R Coronae** hatte am 15. 5. 1923 ein Minimum; am 24. 5. 1923 wurde **Sc II beobachtet** [12]. Bei dem unregelmäßig Veränderlichen  $\rho$  Cassiopeiae = HD 224014 vom Typ **F8 p** oder **G7** konnte 1939 nur Sc II festgestellt werden [13], während und nach dem tiefen Lichtminimum **1946** jedoch Sc I und Sc II [14 bis 16].

Bei der spektroskopischen Untersuchung von 19 Veränderlichen vom RR Lyrae-Typ und 21 Standardsternen, die alle zum A-Typ gehören [17], von 3 RR Lyrae-Sternen vom Bailey-Typ a [18] sowie von RR Lyrae [19] werden Linien von Sc II gefunden.

Auf dem zur T Tauri-Gruppe gehörenden Stern RW Aurigae ist Sc I und Sc II vorhanden [20]. Der Stern BD-6°1253 ist wahrscheinlich ein T Tauri-Veränderlicher im diffusen Nebel NGC 1999; das Spektrum enthält schwache Linien von Sc II [21]. Auch im Spektrum von RU Lupi 155037 = HD 142560, der ebenfalls zum T Tauri-Typ gehört, treten schwache Linien von Sc II auf [22]. In T Tauri ist Sc II nur durch die Linie bei 4325 Å nachweisbar [23]. — AC Herculis ist ein RV Tauri-Veränderlicher, der Sc II enthält [24].

Das Spektrum von XX Ophiuchi, einem Veränderlichen vom R Coronae-Typ, enthält 15 Emissionslinien von Sc II [25].  $\rho$  Cas vom Typ T CrB enthält Sc [26]. Im Absorptionsspektrum von W Virginis ist die Linie 4246.83 Å von Sc II vorhanden [27]. Auch auf den folgenden Veränderlichen wird Sc II nachgewiesen: auf HD 50169 vom A2-Typ durch schwache Absorptionslinien [28], auf W Serpentis vom F-Typ durch Emissionslinien [29], auf DQ Cephei = HD 199908 vom F0-Typ durch die Linie bei 4325.88 Å [30]. Im Spektrum von RW Cephei = HD 212466, einem Überriesen vom M-Typ, ist Sc I durch die Emissionslinie bei 3911.81 Å und Sc II durch die Absorptionslinie bei 4246.83 Å feststellbar [31]. Bei dem symbiotisch Veränderlichen Z Andromedae wird Sc II nach der Explosion im Juni 1959 in Emission, nach dem 20. 6. 1961 in Absorption beobachtet [32] sowie 1946 und 1947 im Absorptionsspektrum der Schale von Z Andromedae = HD 232848 [33]. Auch Swings, Struve [34] und Fujita [35] finden Sc II auf Z Andromedae (B I p). Das bei AX Persei, ebenfalls einem symbiotisch Veränderlichen, im Oktober 1952 und Oktober 1955 bis Januar 1957 vorherrschende Absorptionsspektrum, das hauptsächlich aus TiO-Banden sowie Linien von Na I, Ca I, Sr II, Fe I, Cr I und Mn I besteht, wird von einem Emissionsspektrum überlagert, das unter anderem 2 verbotene Übergänge von Sc III bei 3915 und 3945 Å enthält [36].

Für den pulsierenden Stern  $\delta$  Cephei wird aus Wachstumskurven die logarithmische Häufigkeit von Sc relativ zu Fe zu  $+0.01$  berechnet [37].

#### Literatur:

- [1] Y. Fujita (Astrophys. J. **113** [1951] 626/9). — [2] P. W. Merrill (Astrophys. J. **107** [1948] 303/26). — [3] P. W. Merrill (Astrophys. J. **103** [1946] 275/88). — [4] W. Buscombe, P. W. Merrill (Astrophys. J. **116** [1952] 525/35). — [5] P. W. Merrill (Astrophys. J. **130** [1959] 123/33). — [6] D. N. Davis (Publ. Astron. Soc. Pacific **52** [1940] 207/8). — [7] P. W. Merrill, A. J. Deutsch, P. C. Keenan (Astrophys. J. **136** [1962] 21/34). — [8] A. H. Joy (Astrophys. J. Suppl. Ser. 1 [1954] 39/62, 46, 55). — [9] M. S. Bessel (Astrophys. J. Suppl. Ser. **18** [1969] 167/94). — [10] I. J. Danziger, J. B. Oke (Astrophys. J. **147** [1967] 151/7).

[11] G. Preston, G. Wallerstein (Astrophys. J. **138** [1963] 820/31). — [12] A. H. Joy, M. L. Humason (Publ. Astron. Soc. Pacific **35** [1923] 325/7). — [13] W. S. Tai, A. D. Thackeray (Monthly Notices Roy. Astron. Soc. **108** [1948] 271/5). — [14] A. D. Thackeray (Monthly Notices Roy. Astron. Soc. **108** [1948] 276/91, 282). — [15] W. R. Beardsley (Astrophys. J. Suppl. Ser. **5** [1961] 381/502, 497).

[16] J. L. Greenstein (Astrophys. J. **108** [1948] 78/82). — [17] W. Iwanowska (Studia Soc. Sci. Torunensis A **3** Nr. 2 [1953/54] 1/18, 12; C.A. **1955** 3654). — [18] G. W. Preston (Astrophys. J. **134** [1961] 633/50, 636). — [19] R. F. Sanford (Astrophys. J. **109** [1949] 208/14). — [20] G. F. Gahm (Astrophys. J. **160** [1970] 1117/25).

[21] G. H. Herbig (Publ. Astron. Soc. Pacific **58** [1946] 163/4). — [22] A. H. Joy (Astrophys. J. **102** [1945] 168/95, 175). — [23] E. B. Weston, L. H. Aller (Mem. Soc. Roy. Sci. Liege **4**) **15** [1955] 251/5). — [24] R. F. Sanford (Astrophys. J. **121** [1955] 318/25). — [25] P. W. Merrill (Astrophys. J. **114** [1951] 37/46).

[26] M. E. Boyarchuk (Izv. Krym. Astrofiz. Observ. **34** [1965] 136/50 nach C.A. **66** [1967] Nr. 99791). — [27] H. A. Abt (Astrophys. J. Suppl. Ser. **1** [1954] 63/90, 78). — [28] K. R. W. Brewer (Astrophys. J. **118** [1953] 265/80). — [29] M. Hack (Mem. Soc. Roy. Sci. Liege **4**) **20** [1958] 397/403). — [30] J. Sahade, O. Struve, O. C. Wilson, V. Zebergs (Astrophys. J. **123** [1956] 399/407).

[31] P. W. Merrill, O. C. Wilson (Astrophys. J. **123** [1956] 392/8). — [32] M. Bloch (Compt. Rend. **253** [1961] 801/3). — [33] P. W. Merrill (Astrophys. J. **107** [1948] 317/26). — [34] P. Swings, O. Struve (Astrophys. J. **91** [1940] 546/620, 594, 608). — [35] Y. Fujita (J. Phys. Soc. Japan **2** [1947] 204/11).

[36] Tcheng Mao-Lin, M. Bloch (Ann. Astrophys. **20** [1957] 86/101, 93). — [37] J. A. van Paradijs (Astron. Astrophys. **11** [1971] 299/310).

#### Metal Line Stars

##### 2.1.1.4 Metallinien-Sterne

In diesen Sternen wird nur Sc II und nicht Sc I gefunden. Am-Sterne mit Sc II sind  $\zeta$  Lyr A,  $\xi$  Cep,  $\Theta$  Cep,  $\tau$  U Ma,  $\mu$  Ori, 88 Tau und  $\omega$  Tau [1]. In Am-Sternen wie 68 Tau ist die Linie bei 4246 Å von Sc II relativ schwach gegen die starke Linie von Sr II bei 4215 Å [2]. Vergleichende Untersuchungen zwischen dem Am-Stern 63 Tauri, dem A2-Stern 22 Serpentis mit Am-Charakter und dem Standardstern 9 Aurigae (F0 V), die alle Sc II enthalten, s. bei Provost, van't Veer-Menneret [3], vorhergehende Untersuchungen an 63 Tauri bei van't Veer-Menneret [4]. Die korrigierte logarithmische Häufigkeit von Sc beträgt  $-0.90$  für 8 Comae (A3 m) und  $+0.25$  für 15 Vulpeculae (A5 m) relativ zur Sonne [5]. Die logarithmische Häufigkeit von Sc relativ zu Fe beträgt  $-0.33$  für 15 Vulpeculae (A5 m) [6]. 15f Ursae Majoris besitzt ein zusammengesetztes Spektrum (A3 + F5), ist aber als typischer Vertreter der metallischen A-Sterne anzusehen und enthält Sc II [7].

Zu den Metallinien-Sternen vom F-Typ, die Sc II enthalten, zählen  $\iota$  Peg (F5 V), FF Aql (F7 I),  $\beta$  Cas (F2 III), 41 Cyg (F5 II),  $\alpha$  Per (F5 Ib),  $\rho$  Pup (F6 II),  $\Theta$  U Ma (F6 III),  $\alpha$  C Mi (F5 IV),  $\xi$  Gem (F5 III) und  $\Theta$  Per (F7 V) [1]. Von Greenstein [8] und Greenstein, Hiltner [9] wird Sc II auf den F-Sternen  $\tau$  U Ma,  $\rho$  Pup,  $\alpha$  Per,  $\Theta$  U Ma und  $\alpha$  C Mi gefunden, von Breger [10] und Bessell [11] auf  $\eta$  Lep (F0 V),  $\alpha$  C Mi und  $\rho$  Pup. Sc II ist auch vorhanden auf  $\sigma$  Bootis (F),  $\alpha$  Canis Minoris (F5) und 110 Herculis (F5) [12], auf  $\alpha$  Canis Minoris (F5) und 110 Herculis (F5) [13]; auf dem Überriesen  $\alpha$  Persei (F5) [14, 15] sowie auf  $\alpha$  Persei und  $\delta$  Canis Majoris (F8 Ia) [16]. Die logarithmische Häufigkeit von Sc beträgt  $-0.32$  auf VZ Cancri, einem kurz-periodisch Veränderlichen, relativ zu  $\alpha$  C Mi [17]; auf  $\sigma$  Bootis beträgt sie  $-0.7$ , ebenfalls relativ zu  $\alpha$  C Mi [18]. Von Wright [19] werden für ausgewählte Linien von Sc I und Sc II auf  $\alpha$  Canis Minoris,  $\alpha$  Persei und  $\gamma$  Cygni Äquivalentbreiten gemessen. Preston [20] vergleicht die Intensitäten der Sc II-Linien von HD 174 704 (F5 Ib), einem relativ kalten Metallinien-Stern, mit denen von 35 Cygni (F5 Ib) und  $\gamma$  Cygni (F8 Ib). Auch von Roach [21] und Adams, Joy [22] wird Sc II auf  $\gamma$  Cygni festgestellt.

##### Literatur:

- [1] M. Hack (Mem. Soc. Astron. Ital. **27** [1956] 469/95). — [2] P. S. Conti (Astrophys. J. **142** [1965] 1594/603). — [3] J. Provost, C. van't Veer-Menneret (Astron. Astrophys. **2** [1969] 218/39). — [4] C. van't Veer-Menneret (Ann. Astrophys. **26** [1963] 289/330, 306). — [5] G. R. Miczaika, F. A. Franklin, A. J. Deutsch, J. L. Greenstein (Astrophys. J. **124** [1956] 134/54). — [6] R. Faraggiana, C. van't Veer-Menneret (Astron. Astrophys. **12** [1971] 258/63). — [7] G. Miczaika (Z. Naturforsch. **4a** [1949] 165/70). — [8] J. L. Greenstein (Astrophys. J. **109** [1949]

121/38, 128, **107** [1948] 151/87). — [9] J. L. Greenstein, W. A. Hiltner (Astrophys. J. **109** [1949] 265/74). — [10] M. Breger (Astrophys. J. **162** [1970] 597/604, 601).

[11] M. S. Bessell (Astrophys. J. Suppl. Ser. **18** [1969] 167/94). — [12] K. O. Wright, E. K. Lee, T. V. Jacobson, J. L. Greenstein (Publ. Dominion Astrophys. Obs. Victoria B. C. **12** [1965] 173/291). — [13] P. Wellmann (Z. Astrophysik **36** [1955] 194/211, 200). — [14] H. R. Steel (Astrophys. J. **102** [1945] 43/63, 46). — [15] K. O. Wright (J. Roy. Astron. Soc. Can. **40** [1946] 183/200, 196).

[16] R. A. Bell, A. W. Rodgers (Monthly Notices Roy. Astron. Soc. **142** [1969] 161/99). — [17] I. J. Danziger, J. B. Oke (Astrophys. J. **147** [1967] 151/7). — [18] I. J. Danziger (Astrophys. J. **143** [1966] 591/2). — [19] K. O. Wright (Publ. Dominion Astrophys. Obs. Victoria B. C. **8** [1948] 1/116 nach C. A. **1951** 3710). — [20] G. W. Preston (Astrophys. J. **134** [1961] 797/804).

[21] F. E. Roach (Astrophys. J. **96** [1942] 272/91). — [22] W. S. Adams, A. H. Joy (Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. **13** [1927] 393/6).

#### 2.1.1.5 Barium II-Sterne

*Barium II  
Stars*

Diese Sterne zeigen eine ungewöhnliche Stärke des Ba II-Resonanzdoublets bei 4554 und 4934 Å. Der hellste bekannteste Ba II-Stern ist HD 204075 = ζ Capricorni vom Typ G5-Ba2. Auf ihm wird Sc II durch mehrere schwache Linien nachgewiesen, die Linie bei 5700 Å von Sc I deckt sich mit einer von Cu I [1]. Der zweithellste Ba II-Stern der nördlichen Hemisphäre ist HR 774 vom Typ G8-Ba3. Die logarithmische Häufigkeit von Sc auf diesem Stern beträgt -0.1 relativ zum Stern ε Virginis vom Typ G9 [2]. Im Spektrum von ζ Cygni vom Typ G8 II sind 2 Linien von Sc I bei 6210.68 und 6305.67 Å und 10 Linien von Sc II enthalten [3]. Auch HR 774 enthält Sc I und Sc II [4]. Die chemische Zusammensetzung des Ba II-Sterns HD 46407 wird mit der von α Geminorum vom Typ G8 III verglichen, beide Sterne enthalten Sc I und Sc II [5].

Literatur:

[1] J. L. Tech (Natl. Bur. Std. [U.S.] Monograph Nr. 119 [1971] 1/170, 56). — [2] S. Nishimura (CONF-660665 [1966] 125/9; Proc. Colloq. Late-Type Stars, Trieste 1966). — [3] F. R. Chromey, S. M. Faber, A. Wood, I. J. Danziger (Astrophys. J. **158** [1969] 599/606). — [4] C. R. Cowley (Astrophys. J. **153** [1968] 169/75). — [5] E. M. Burbidge, G. R. Burbidge (Astrophys. J. **126** [1957] 357/85).

#### 2.1.1.6 Kohlenstoff-Sterne

*Carbon  
Stars*

Die Sterne HD 156074 (C1<sub>2</sub>) und DS Pegs (C6<sub>3</sub>) enthalten nur Sc I, die Sterne UX Drac (C6<sub>4</sub>), U Hyda (C7<sub>3</sub>) und WZ Cass (C9<sub>1</sub>) nur Sc II, die Sterne RY Drac (C4<sub>4</sub>), W. Orio (C5<sub>3</sub>), Y CVn (C5<sub>4</sub>), BL Orio (C6<sub>2</sub>) und 19 Pisc (C6<sub>2</sub>) enthalten Sc I und Sc II [1]. Auf dem kalten Kohlenstoff-Stern Y Canum Venaticorum (C5<sub>4</sub>), einem Veränderlichen, ist Sc I und Sc II vorhanden [2 bis 4]. Der Überriese R Coronae Borealis ist ein heißer Kohlenstoff-Stern vom Typ c F7 p; in seinen Lichtminima 1948/1949 [5] und 1960 [6] treten Emissionslinien von Sc I und Sc II bzw. Sc II auf, während in den Lichtmaxima zwischen 1942 und 1959 Sc II durch Absorptionslinien nachgewiesen wurde [7]. Von Searle [8] und Berman [9] wird nur die Anwesenheit von Sc II festgestellt. Das Spektrum des späten Kohlenstoff-Sterns V Aql (C6<sub>4</sub>) wird mit dem von U Cygni (C9<sub>2</sub>) verglichen, beide enthalten Linien von Sc I und Sc II [10], [11]. Im Spektrum des besonderen Kohlenstoff-Sterns WZ Cassiopeiae treten Absorptionslinien von Sc I und Sc II auf [12].

In den Spektren von 6 Sternen, und zwar den beiden R-Sternen HD 182040 (R0 = C1<sub>2</sub>) und HD 156074 (R1 = C1<sub>2</sub>), sowie den 4 N-Sternen TX Psc (N0 = C6<sub>2</sub>), BL Ori (N0 = C6<sub>2</sub>), UU Aur (N3 = C5<sub>3</sub>) und Y CVn (N3 = C5<sub>4</sub>) werden 2 Absorptionslinien von Sc II bei 5671.80 und 5700.14 Å beobachtet, die 3. Linie bei 5724.07 Å nur auf den 5 zuletzt genannten Sternen [13]. Auf HD 182040 (R0) und HD 156074 (R1) ist Sc I durch die Absorptionslinie bei 4000 Å nachweisbar, Sc II durch die Linie bei 4246 Å, die auch Sc II auf HD 16115 (R3) bestätigt [14].

Literatur:

[1] Y. Fujita, Y. Yamashita, F. Kamijo, T. Tsuji, K. Utsumi (Publ. Dominion Astrophys. Obs. Victoria B.C. **12** [1965] 293/316). — [2] Y. Fujita, T. Tsuji (Publ. Dominion Astrophys. Obs. Victoria B.C. **12** [1965] 339/60). — [3] Y. Fujita, T. Tsuji (Proc. Japan. Acad. **40** [1964] 404/9). — [4] Y. Fujita, Y. Yamashita (Publ. Dominion Astrophys. Obs. Victoria B.C. **12** [1965] 117/50, 122). — [5] G. H. Herbig (Astrophys. J. **110** [1949] 143/55, 155).