

## 5. Strontium

### Zusammenfassung

Strontium steht in seiner Häufigkeit mit 0,03% an der 18. Stelle der Erdkrustenelemente. Da es dem Calcium sehr ähnlich ist, kann es dieses in Mineralen und Gesteinen ersetzen. Strontium besitzt insgesamt vier stabile Isotope, von welchen  $^{88}\text{Sr}$  mit 82,6% am häufigsten auftritt, und 22 radioaktive Isotope, von denen  $^{90}\text{Sr}$  mit 28,8 Jahren die größte Halbwertszeit besitzt. Strontium tritt in der Natur niemals in elementarem Zustand auf. Von den insgesamt 27 Strontium enthaltenden Mineralen sind nur zwei von größerer Bedeutung – Coelestin ( $\text{SrSO}_4$ ) und Strontianit ( $\text{SrCO}_3$ ).

Durch die Strontiumverhältnisse können Aussagen über die Dynamik und Geochemie der Interaktion von Oberflächen- und Grundwasser, Grundwasser und Meerwasser und Thermalwassersystemen und Solen getroffen werden. Desweiteren sind mit Hilfe der Isotopenverhältnisse Aussagen über die Genese von Grundwässern möglich.

Im Allgemeinen spiegelt die Konzentration und die Isotopenzusammensetzung des Strontiums in Oberflächen- und Solewässern die Mineralzusammensetzung und das Alter der durchflossenen Gesteine wider und kann für Aussagen über Herkunft, Bewegung und Mischung des Wassers genutzt werden.

Bei  $^{14}\text{C}$ - Grundwasserdatierungen kann es zu einer Verfälschung der Ergebnisse durch Anwesenheit von Karbonaten im Untergrund kommen. Hierbei ist eine Korrektur durch Strontiummessungen möglich.

Die Isotopenzusammensetzung des Strontiums ist nicht nur ein nützlicher Indikator für das Alter von Gesteinen und Mineralen, sondern enthält auch Informationen über die Herkunft intrusiver Gesteine und die geologischen Prozesse, welche ihre chemische Zusammensetzung verändern.

Das  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Verhältnis von nichtkarbonatischen Sedimentablagerungen in den Ozeanen ändert sich systematisch mit den regionalen Ablagerungen und widerspiegelt das Alter und das  $\text{Rb}/\text{Sr}$  Verhältnis seiner Quelle.

Durch Analysen an marinen Karbonaten konnte gezeigt werden, daß sich das  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Verhältnis in den Ozeanen im Verlaufe des Phanerozoikums systematisch änderte, aber anscheinend im offenen Ozean für eine bestimmte Zeit konstant blieb.

Die Isotopenzusammensetzung des Strontiums in der Natur ist nicht konstant, aber abhängig von dem  $\text{Rb}/\text{Sr}$  Verhältnis einer Probe.

## 5.1 Das Element

### 5.1.1 Eigenschaften

Strontium mit dem Symbol Sr, steht in der zweiten Hauptgruppe des Periodensystems und gehört somit zu den Erdalkalimetallen. Es ist ein chemisch reaktives, geschmeidiges, formbares metallisches Element. Die Ordnungszahl von Strontium, welche der Protonenzahl entspricht, ist 38. Strontium besitzt einen Atomradius von 1,13 Å. Es schmilzt bei 769 °C, siedet bei 1384 °C und besitzt eine relative Dichte von 2,6 g/cm<sup>3</sup>. Strontium hat – wenn es frisch geschnitten wird - eine silberweiße Farbe. An der Luft oxidiert es sofort mit Wasser der Luftfeuchtigkeit zu Strontiumhydroxid und gasförmigen Wasserstoff.

### 5.1.2 Geschichte

Das Element wurde 1790 von dem Wissenschaftler A. Crawford im Mineral Strontianit aus einem Bleibergwerk entdeckt. Unabhängig von Crawford wurde es von Lowitz entdeckt. Metallisches Strontium wurde erstmals von dem britischen Chemiker Sir H. Davy im Jahre 1808 dargestellt. Reines metallisches Strontium wurde 1855 von Bunsen auf elektrolytischem Wege hergestellt. (CD RÖMPP 1995)

### 5.1.3 Vorkommen

Strontium tritt niemals in elementaren Zustand auf. Am Aufbau der Erdkruste ist es mit ca. 0,03 Gew.% beteiligt. In seiner natürlichen Häufigkeit steht es an 18. Stelle der Erdkrustenelemente. Strontium liegt lithogen vorwiegend in Feldspäten und z. T. in Plagioklasen und aquatisch in Karbonaten und Sulfaten vor.

Es gibt insgesamt 27 Strontium enthaltende Minerale. Davon sind aber nur zwei von Bedeutung – Coelestin (SrSO<sub>4</sub>) und Strontianit (SrCO<sub>3</sub>).

Aufgrund der hohen Ähnlichkeit mit Calcium, kann Strontium dieses in Mineralen ersetzen.

Strontium kommt in kleinen Mengen in vielen Gegenden vor. Die größten Abbaugelände befinden sich in Mexiko, England und Schottland. (MICROSOFT®ENCARTA® 1998))

Tabelle 5.1.3.1 Durchschnittliche Sr- Konzentrationen in verschiedenen Gesteinen.  
(TUREKIAN & WEDEPOHL 1961)

Gesteine	Sr [mg/kg]
Ultrabasite	1
Basalte	465
Ca- reiche Granite	440
Ca- arme Granite	100
Syenite	200
Schiefer	300
Sandstein	20
Karbonate	610
Tiefseekarbonate	2000
Tiefseetone	180

Tabelle 5.1.3.2 Strontiumgehalte in Wässern

Wasserart	Sr mg/l
Meerwasser gelöst	8
Flußwasser gelöst	0,06
Grundwasser	0,01.... 1,0
Regenwasser	0,0001... 0,00044

### 5.1.4 Verwendung

Das Element Strontium hat technisch keine große Bedeutung. Die Weltproduktion von Strontiumerzen liegt bei jährlich 140.000 Tonnen. Die Anwendungen der metallischen Form von Strontium beschränken sich auf einige Bereiche in der Metallurgie. Strontiumsalze werden für Feuerwerkskörper (Pyrotechnik) und Eisenbahnleuchtsignale verwendet. Strontiumcarbonat setzt man bei der Herstellung von Bildschirmglas für Farbfernseher ein. Strontium wird auch als Zuschlagstoff bei der Stahlhärtung verwendet. Zwei Isotope des Elements, das Strontium 85 und Strontium 87 nutzt man zum Nachweis von Knochenkrebs (Szintigraphie). Strontium-90 wird als Quelle für  $\beta$ -Strahlung in der Radiographie und für die Messung extrem dünner Schichten benutzt.

(MICROSOFT & <http://www.uniterra.de/rutherford/ele038.htm>)

### 5.1.5 Isotope des Strontiums

Strontium besitzt vier natürliche Isotope:  $^{88}\text{Sr}$  (82,6%),  $^{87}\text{Sr}$  (7,0%),  $^{86}\text{Sr}$  (9,9%) und  $^{84}\text{Sr}$  (0,6%), von denen  $^{88}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$  und  $^{84}\text{Sr}$  stabil sind.  $^{87}\text{Sr}$  entsteht aus dem  $\beta$ - Zerfall von  $^{87}\text{Rb}$ . Von den 22 radioaktiven Nukliden hat  $^{90}\text{Sr}$  mit einer Halbwertszeit von 28,8 Jahren die längste Zerfallsrate.  $^{90}\text{Sr}$ , welches ein Produkt der Kernspaltung von Uranium ist, ist ein  $\beta$ - Strahler, der während der oberirdischen Kernwaffenversuche in den 50er und 60er Jahren in größeren Mengen freigesetzt wurde.  $^{90}\text{Sr}$  gilt als besonders gefährlich da es sich in den Knochen anreichert und durch die radioaktive Strahlung das Gewebe geschädigt bzw. zerstört wird.

Tabelle 5.1.5.1 Isotope des Strontiums und ihre Kennwerte

Isotop	Häufigkeit [%]	Massenzahl [amu]	Isotopenart	Strahlungsart	Halbwertszeit
$^{84}\text{Sr}$	0,56	83,9134	stabil	-	-
$^{85}\text{Sr}$		84,9129	radioaktiv	gamma	64,0 d
$^{86}\text{Sr}$	9,86	85,9093	stabil	-	-
$^{87}\text{Sr}$	7,00	86,9089	radioaktiv	?	? sehr hoch
$^{88}\text{Sr}$	82,58	87,9059	stabil	-	-
$^{89}\text{Sr}$		88,9075	radioaktiv	beta	51,5 d
$^{90}\text{Sr}$		89,.....	radioaktiv	beta	28,8 a

## 5.2 Strontium in den Geowissenschaften

### 5.2.1 Isotopengeologie des Strontiums

Die Isotopenbildung des Strontiums auf der Erde begann vor  $4,5 \pm 0,1 \cdot 10^9$  Jahren mit einem primordialen  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Verhältnis von 0,699. Diese Erkenntnis verdankt man einer Studie an Gesteinen von Meteoriten und dem Mond. Die folgende Entwicklung des Strontiums auf der Erde fand mit unterschiedlicher Geschwindigkeit in der kontinentalen Kruste und im oberen Mantel statt. Die Bildung der kontinentalen Kruste neben der inneren Differenzierung des Mantels muß vor rund vier Milliarden Jahren begonnen haben. Darauf deuten rezente Funde von granitischen Gneisen, welche vor  $3,7 \cdot 10^9$  Jahren kristallisierten. Die niedrigen Initialverhältnisse von  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.700 bis 0.702) dieser alten Gneise bestärken die Annahme, daß dieses Gestein dem Mantel zurückgeführt wurde kurz vor seiner Endkristallisation.

Die Entwicklung des  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Verhältnis im Mantel vollzog sich wesentlich langsamer, als die in der kontinentalen Kruste, aufgrund des durchschnittlich niedrigeren Rb/ Sr Verhältnisses von  $0,027 \pm 0,011$ . In der heutigen Zeit liegt das  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Verhältnis bei  $0,704 \pm 0,002$ . Die Verschiedenartigkeit der Isotopenzusammensetzung läßt darauf schließen, daß in einigen Teilen des Mantels der Rubidiumgehalt gegenüber dem Strontium erschöpft ist, währenddessen dies in anderen Teilen des Mantels nicht der Fall ist.

Systematische Veränderungen der  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Verhältnisse und die chemische Zusammensetzung der Vulkangesteine geben Auskunft über die Herkunft des Magmas und dessen chemischer und isotopischer Entwicklung.

Die  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Verhältnisse von vulkanischen Gesteinen, welche auf der kontinentalen Kruste ausgestoßen werden sind variabler und im Durchschnitt höher, als die in den ozeanischen Becken. (FAURE 1986)

### 5.2.2 Isotopenuntersuchungen an Wässern

Im Allgemeinen spiegelt die Konzentration und die Isotopenzusammensetzung des Strontiums in Oberflächen- und Solewässern die Mineralzusammensetzung und das Alter der durchflossenen Gesteine wider und kann für Aussagen über Herkunft, Bewegung und Mischung des Wassers genutzt werden. Wasser, welches Karbonate durchflossen hat, besitzt eine hohe Strontiumkonzentration und ein niedriges  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - Verhältnis. Eine niedrige Strontiumkonzentration mit einem hohen  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - Verhältnis besitzen Wässer, welche Intrusivgesteine und Metamorphite durchquert haben.

Strontiumisotope ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) sind ein nützlicher Indikator für Wasser- Gesteins- Wechselwirkungen und ein guter Tracer für Grundwasserbewegungen und Herkunft der Salinität.

#### 5.2.2.1 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Untersuchungen an Grundwässern

Strontium enthält mit dem Isotop  $^{87}\text{Sr}$  eine Komponente, die anteilig dem  $\beta$ -Zerfall des primordialen Radioisotops  $^{87}\text{Rb}$  entstammt. Entsprechend der erdgeschichtlichen Vergesellschaftung von Rubidium und Strontium kommt es somit zu Variationen in der relativen Häufigkeit des  $^{87}\text{Sr}$ , die sich im  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis ausdrückt.

In den kontinentalen Wasserkreislauf gelangt Strontium im wesentlichen durch Lösung von Gesteinen. Insbesondere bei jüngeren Wässern können jedoch auch anthropogene Einträge (z. B. durch Düngemittel oder Abwässer) ins Gewicht fallen.

Eine radiogene Veränderung des Sr-Isotopenverhältnisses im gelösten Zustand ist auf die Ausnahmefälle extrem langer Verweilzeiten und/ oder extrem hoher Rb/Sr-Konzentrationsverhältnisse beschränkt.

Geogen gelöstes Strontium enthält in den allermeisten Fällen eine mittlere Isotopeninformation der Gesteine. Ob beim Passieren der einzelnen Gesteinskomplexe eine Veränderung der Sr-Bilanz erfolgt oder nicht, hängt neben dem Angebot an lösungsfähigem Strontium (oder auch austauschfähiger Ionen) von den morphologischen und hydrochemischen Bedingungen sowie der Kontaktzeit ab. Aufgrund der Sr-Isotopenverhältnisse ist eine Klassifizierung der Grundwässer nach ihrer Herkunft möglich. (TRETTIN 1990)

### 5.2.2.2 Isotopenverhältnis im Ozean

Das  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Verhältnis in jungen Ozeanen ist 0,70906 ( $\pm 0,00033$ ) und konstant in allen Ozeanen der Welt. Dieser Wert liegt zwischen dem  $^{87}\text{Sr}$ -armen ozeanischen Basalten ( $\sim 0,703$ ) und  $^{87}\text{Sr}$ -reichen kontinentalen Gesteinen (0,710 bis 0,740). Analysen an marinen Karbonaten zeigten, daß sich das  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Verhältnis in den Ozeanen im Verlaufe des Phanerozoikums systematisch änderte, aber anscheinend im offenen Ozean für eine bestimmte Zeit konstant blieb. Die zeitabhängige Veränderung von diesem Isotopenverhältnis in den Ozeanen kann, die sich ändernden Verhältnisse des Strontiuminhaltes der Ozeane aufgrund unterschiedlicher Quellen erklären. Das  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis nimmt ab, wenn der Eintrag von Mantelmaterial zunimmt und der Eintrag von Krustenmaterial aufgrund der Verwitterung zunimmt. So spiegelt diese Kurve (Abb. 5.2.2.2.1) die relative Zusammensetzung des Strontiums im Ozean in Abhängigkeit von kontinentaler Verwitterung und hydrothermalen Aktivität entlang des mittelozeanischen Rückens wider.

(FAURE 1986)

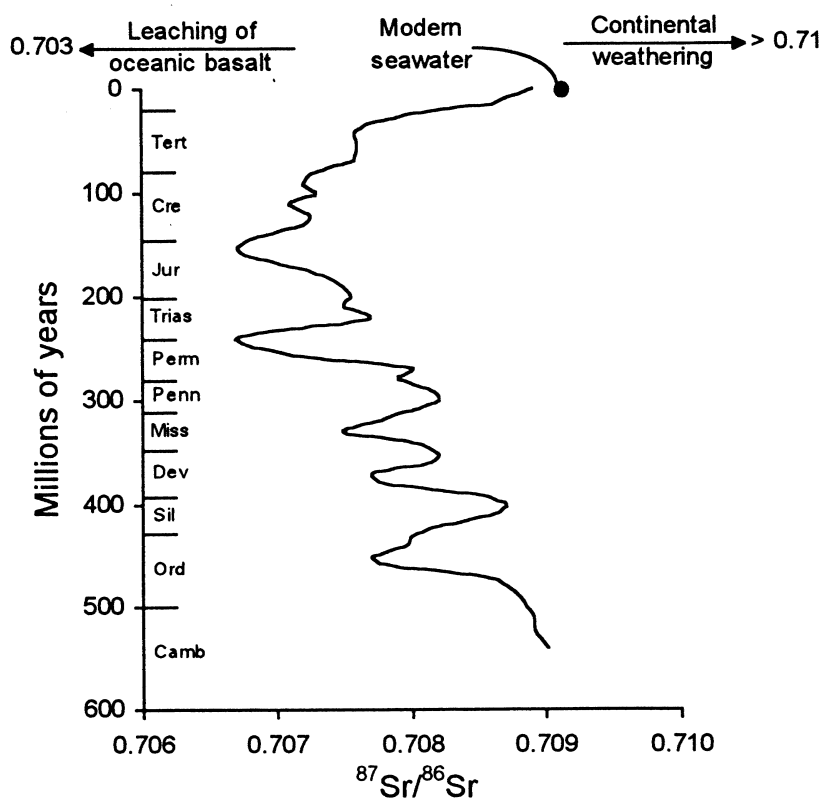


Abb. 5.2.2.2.1 Entwicklung der Änderung der  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Verhältnisse

### 5.2.3 Nutzung der Strontiumisotope bei der Gesteinsgenese

Das Rb/ Sr- Verhältnis der kontinentalen Kruste ist zehnmal höher, als das des oberen Mantels. Strontium wird in der kontinentalen Kruste als  $^{87}\text{Sr}$  angereichert. Deshalb besitzen Gesteine, welche durch Aufschmelzung, Metasomatose oder Assimilation typischer Krustengesteine entstanden sind ein höheres  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Initialverhältnis, als genetisch unbeeinflusste Gesteine aus dem Mantel.

### 5.2.4 Isotopengeologie des Strontiums in Sedimenten

Durch die chemische Verwitterung der Intrusivgesteine und Metamorphite wird Strontium freigesetzt und gelangt in Lösung. Dessen  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - Verhältnis ist geringer, als das des Ausgangsgesteins aufgrund der höheren Resistenz von Muskovit und Kalifeldspat gegenüber der chemischen Verwitterung verglichen mit Plagioklas und Calcit. Die Ionen werden ausgetauscht und es werden neue Minerale gebildet, welche niedrigere Rb/ Sr- Alter als das Ausgangsgestein aufweisen.

Karbonate und Evaporite beinhalten das  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Verhältnis von Ozeanen oder Salzseen, in welchen sie gebildet wurden. Diese Tatsache beruht darauf, daß nur das Strontium aufgrund seiner hohen Ähnlichkeit mit Calcium in die Karbonate eingelagert wird. Das Rubidium wird nicht eingelagert und kann somit das  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - Verhältnis nicht mehr beeinflussen. Voraussetzung hierfür ist allerdings, daß die Karbonate keiner Diagenese, Dolomitisierung, regionaler Metamorphose oder selektiver Lösung von Mineralen ausgesetzt waren.

Stratigraphische Abweichungen in den Werten von diesem Verhältnis werden durch den Wechsel der Geologie des Abfußbeckens, wie durch vulkanische Aktivität, freigelegtem kristallinen Basement oder der Bildung von Nebenbecken mit niedrigerem Wasserspiegel, aufgezeigt.

Das  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Verhältnis von nichtkarbonatischen Sedimentablagerungen in den Ozeanen ändert sich systematisch mit den regionalen Ablagerungen und widerspiegelt das Alter und das Rb/ Sr Verhältnis seiner Herkunft. Unter bestimmten, günstigen, geologischen Bedingungen können die nichtkarbonatischen Fraktionen als Zweikomponentenmischung, bestehend aus verwittertem Material alter sialischer Gesteine und jungen vulkanischen Gesteinen basaltischer Zusammensetzung angesehen werden. (FAURE 1986)

### 5.2.5 Abschätzung der geologischen Zeit mit Hilfe der Rubidium - Strontium

#### Methode

Der Zerfall des natürlich vorkommenden Rubidiums ( $^{87}\text{Rb}$ ) und das Strontiumisotop  $^{87}\text{Sr}$  können genutzt werden um die Alter verschiedener Gesteine und Mineralien, welche Rubidium enthalten abzuschätzen.

Die meisten nützlichen Methoden der Datierung basieren auf Isochronen, welche aus den  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - und  $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$ -Verhältnisse unbeanspruchter Gesteine und Mineralien gleichen Alters und einem initialen  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - Verhältnis ermittelt wurden. (FAURE & POWELL 1972)

## Literaturverzeichnis

FAURE, G. (1986): Principles of Isotope Geology. John Wiley & Sons, second edition

FAURE, G., & POWELL, J.L. (1972): Strontium Isotope Geology. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York

FRITZ, P. & FONTES, J. Ch. (1986): Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Volume 2, ELSEVIER Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo

TRETTIN, R., HAASE, G. & HABEDANK, M. (1990):  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - Untersuchungen an Grundwässern des Berliner Urstromtales. Isotopenpraxis 26, S. 595- 598

CD Römpp Chemie Lexikon – Version 1.0, Stuttgart/ New York: Georg Thieme Verlag 1995

Microsoft®Encarta® 98 Enzyklopädie. © 1993 – 1997 Microsoft

<http://www.lifeline.de/navigation/index.html>