

5. Geochemische Modellierung der Mischung des „White Lady Endmembers“ und Meerwasser mit Hilfe der Zusammensetzung der Fluiddaten und mineralogischer Proben aus dem North Fiji Becken

5.1. Einleitung

In den folgenden zwei Kapiteln wird mit Hilfe von Analysedaten geprobter hydrothermaler Fluide von dem Meeresboden, die den Prozess des Siedens durchlaufen haben, gearbeitet, um Aussagen über die Speziation der wässrigen Phase und die Mineralisierung dieser hydrothermalen Fluide zu machen. Außerdem wird geprüft, welchen Einfluß die Beimischung von Meerwasser und „brine“ sowie die Gesteins-Fluid-Wechselwirkung auf die chemische Zusammensetzung der hydrothermalen Fluide haben. Hierbei stehen die zwei resultierenden Komponenten der Phasenseparation, die flüssige Phase, die an Gasen verarmt und an Salzen und Metallen angereichert ist (im Englischen „brine“ genannt), und die aufgrund des Drucks kondensierte Gasphase, die an Gasen angereichert und an Metallen und Salzen verarmt ist, im Blickpunkt. Die gasangereicherte Phase wird in diesem und die „brine“ in dem nächsten Kapitel betrachtet.

Das gasangereicherte hydrothermale Fluid stammt vom Rücken des North Fiji Beckens (Abb.49). Das North Fiji Becken liegt zwischen dem Lau Rücken im Osten und dem Vanuatu vulkanischen Bogen im Westen bei 16°58'S. Das genannte Fluid strömt aus einem Schornstein, der „White Lady“ genannt wird. Dieser aktive hydrothermale Ort der White Lady ist in dem N15° axialen Graben des North Fiji Beckens in der Mitte eines fossilen hydrothermalen Hügels in einer Tiefe von 2000 m lokalisiert. Eine dichte Fauna (Gastropoda, Muscheln, Krabben, Galatheen und Cirripeden) lebt dort und umgibt diesen Austritt. Die Untersuchung der Mineralogie und Chemie der Proben des aktiven Austritts der „White Lady“ und deren Beziehung zueinander kann durch die Daten der Fluidzusammensetzung unterstützt werden. Die Mineralgemeinschaften der Modellierung, welche im Gleichgewicht mit analysierten Fluidzusammensetzungen sind, können mit den beobachteten Mineralgemeinschaften verglichen werden. Mineralgemeinschaften der Berechnung, welche im Gleichgewicht mit den verschiedenen Mischungen von Meerwasser und hydrothermalen Fluid sind, können mit der beobachteten Mineralgemeinschaft des Austritts verglichen werden. Auf diese Weise kann die Beziehung zwischen der Mineralgemeinschaft und den Fluiden untersucht werden.

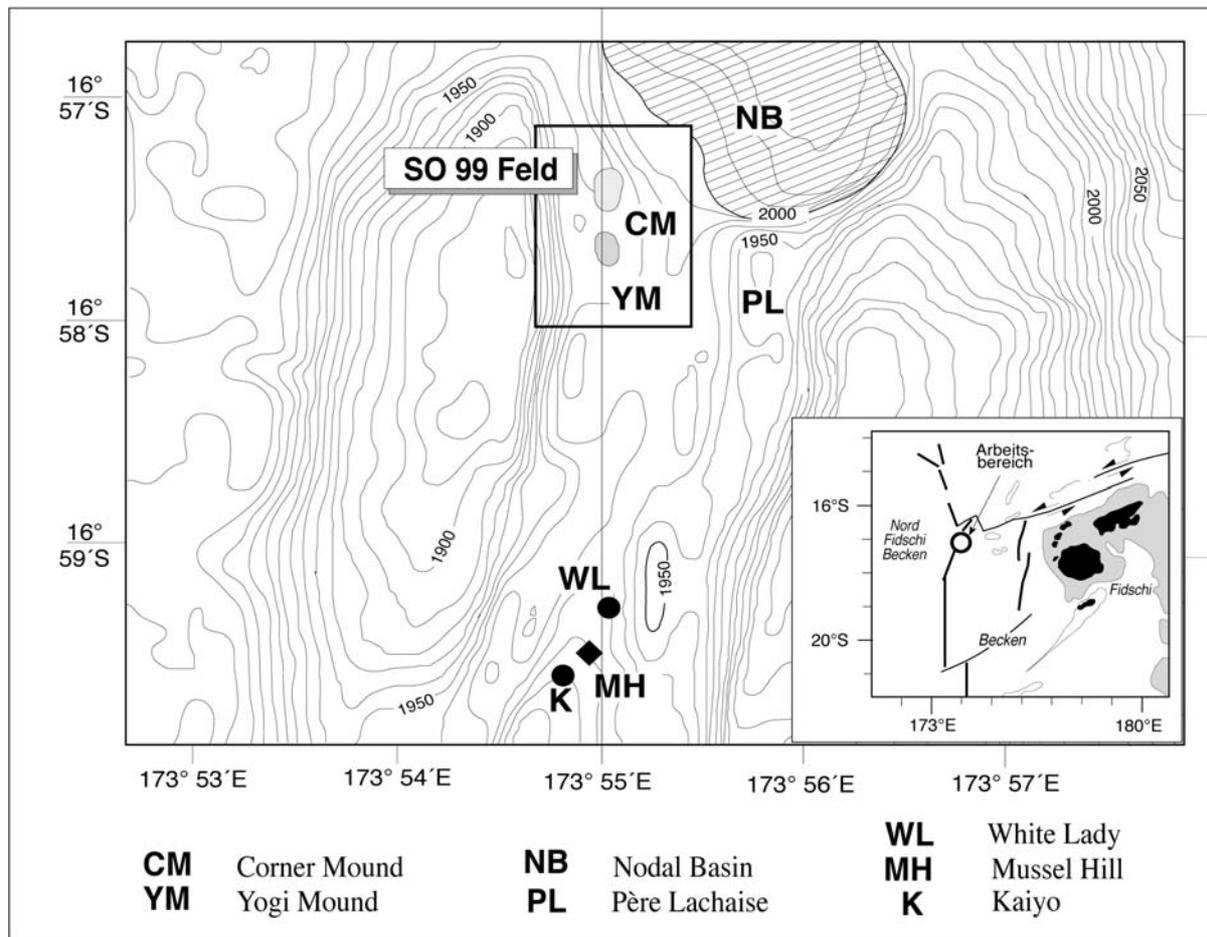


Abbildung 49: Karte des SW-Pazifiks, diese zeigt die Lage des North Fiji Beckens (nach Halbach et al., 1998)

5.2. Konservative Mischung mit Meerwasser

Die Fluidzusammensetzung dieses Austritts wurde erstmals 1989 von Grimaud et al. (1991) untersucht. Grimaud et al. (1991) leiteten mit Hilfe der Regression aus den geprobt hydrothermalen Fluiden der White Lady die Endmemberzusammensetzung (W.L.E.F.) ab, welche in der Tabelle 25 angegeben ist und in dieser Arbeit verwendet wird. 1991 wurde dieser Austritt von Ishibashi et al. (1994) ein zweites mal beprobt, hierbei wurden drei hydrothermale Fluide analysiert (Tab.25). Der in situ-pH-Wert des "Endmembers" (Tab.25) wurde bestimmt, indem bei der in situ Temperatur und einem Druck nach der Dampfsättigung die Speziesverteilung mit Hilfe der von Ishibashi et al. (1994) gemessenen Komponenten berechnet wurde (285.0 °C und 69.2 bar (White Lady), 291.0 °C und 75.523 bar (Kaiyo und LHOS)). Wird der pH-Wert nach dem CO₂-Gehalt des W.L.E.F. berechnet, ergibt sich ein pH-Wert von 3.3 des W.L.E.F. bei 285 °C. Wird der pH-Wert nach der H⁺-Konzentration bei 25°C und dem CO₂-Gehalt des W.L.E.F. bestimmt, ergibt sich ein deutlich alkalischerer pH-Wert von 6.1. Die Ergebnisse der geochemischen Modellierung der Mischung des W.L.E.F.

und Meerwasser (siehe Tab.33) sprechen für den pH-Wert von 6.1 des W.L.E.F., da der pH-Wert des Modellergebnisses dieser Mischung von W.L.E.F. mit einem pH-Wert von 6.1 und Meerwasser annähernd mit dem geprobt Fluid 3 (Ishibashi et al., 1994) übereinstimmt (siehe unten). Wird dagegen der pH-Wert von 3.3 für das W.L.E.F. während dieser Mischung angenommen, stimmen der pH-Wert des Modellergebnisses und des Fluids 3 nicht überein. Die Berechnung der Speziesverteilung des „White Lady Fluids“ sagt aus, daß bei 285 °C Quarz, Anhydrite, Andradit und Mesolit (siehe Tab.24) übersättigt sind und präzipitieren.

Tabelle 24: Die Ergebnisse der Speziesverteilung des White Lady Fluids bei 285 °C

Minerale
Quarz
Anhydrit
Andradit ($\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$, Granat)
Mesolit ($\text{Na}_{.676}\text{Ca}_{.657}\text{Al}_{1.99}\text{Si}_{3.01}\text{O}_{10} \cdot 2.647\text{H}_2\text{O}$, Zeolith)

Die Beziehung zwischen dem W.L.E.F. ($\text{Mg} = 0$) (Grimaud et al., 1991) und den verschiedenen White Lady Fluiden (Fluid 1 (77-Ti), 2 (77-6) und 3 (78-Ti)) (Ishibashi et al., 1994) wird hier untersucht. Die Austrittstemperaturen dieser Fluide betragen maximal 285 °C, liegen also deutlich unterhalb der Siedetemperatur von 370 °C bei diesen Verhältnissen unter der Meeresbodenoberfläche (Bischoff and Rosenbauer, 1988). Butterfield (1990) hat darauf hingewiesen, daß diese Tatsache sehr deutlich eine Abkühlung des Fluids durch Beimischung von kaltem Meerwasser nach der Phasenseparation während dem Aufstieg anzeigt. Von Damm (1988) schlug vor, daß alle submarinen hydrothermalen Fluide als das Ergebnis einer Mischung von drei Komponenten interpretiert werden könnten: hydrothermales Meerwasser, LSF (ein Fluid geringer Salinität) und Brine. Grimaud et al. (1991) stellten fest, daß die NFB-Daten innerhalb des von Von Damms definierten „LSF-seawater hydrothermal solution“-Feld in dessen Diagrammen liegen. Da die Li- und Br-Konzentrationen der experimentell kondensierten Dampflluide und des heißen Meerwassers von Bischoff und Rosenbauer (1987) als Referenz für natürliche hydrothermale Systeme angesehen werden können, schloß Grimaud et al. (1991) aus dem Vergleich dieser Daten und der des NFB, daß die Fluide der „White Lady“ aus der Mischung der zwei Komponenten „Endmember“ und kaltes Meerwasser resultieren (Abb.50). Diese These kann mit der geochemischen Modellierung geprüft werden.

Falls das Fluid mit Hilfe der geochemischen Modellierung linear von einer Temperatur von 285 bis 2 °C abgekühlt wird, präzipitieren die Minerale, die in der Tabelle 27 aufgeführt sind.

Tab.25: Zusammensetzung der in dieser Arbeit berücksichtigten hydrothermalen Fluide und des Meerwassers (Grimaud, 1991; Ishibashi, 1994) aus dem Nord Fischei Becken.

Daneben sind die berechneten Konzentrationen der konservativen Mischung (siehe Text) für die einzelnen Komponenten aufgeführt.

Komponente	Nord Fiji Becken				Konservative Mischung ^b						Meerwasser ^a
	White Lady ^a (Mg = 0)	White Lady ^a 1	White Lady ^a 2	White Lady ^a 3	0.85/0.15 (=1/0.18)	1/1	1/10	1/100	1/1000	1/1 e+5	
T (°C)	285,00				242,2	143,20	29,10	6,70	4,30	4,00	
pH (25°C)	4,70	7,85	7,02	4,98							7,6
pH (bei in situ Temperatur)											
Cl ⁻ (mmolal)	3,39 255,00				4,224	4,91	6,17	7,30	7,73	7,79	
Na ⁺	210,00	564,00	539,00	357,00	299,80	404,24	526,33	550,51	553,17	553,49	552,00
CO ₂ (aq) (freie Spezies)											
SiO ₂ (aq)	14,52 14,00		2,23	9,65	12,67	8,11	1,58	0,20	0,08	0,07	2,30
Kalium	10,50	0,14	0,14	8,45	11,92	7,07	1,40	0,28	0,15	0,14	0,14
Ca	6,50	10,20	9,70	10,20	10,45	10,35	10,23	10,20	10,20	10,20	10,20
Mg	0,00	9,98	9,51	7,61	7,01	8,20	9,59	9,87	9,88	9,90	9,90
S	2,00	52,40	49,80	18,50	7,77	25,90	47,09	51,29	51,75	51,80	51,80
H ₂ S(aq)	2,00				5,87	14,90	25,45	27,55	27,77	27,80	
SO ₄		< 1,12	< 1,84	3,32	0,92	0,4964	0,03	3,71E-134	2,28E-04	0,00	0,00
Br (umolal)	0,00 306,00	28,90	27,60	10,00	5,87	14,90	25,45	27,54	27,77	27,80	27,80
Li	200,00	848,00	767,00	547,00	384,90	568,99	784,18	826,83	831,47	831,99	832,00
B	465,00	20,00	19,00	150,00	173,60	112,00	40,00	25,74	24,18	24,00	24,00
Ba	5,90	447,00	422,00	462,00	460,10	448,49	435,00	432,38	432,07	432,00	432,00
Sr	30,000	5,90	0,57	0,15	3,32	5,02	2,95	0,54	0,06	0,01	0,00
Rb	8,80	85,000	88,000	49,000	25,560	15,215	3,120	0,725	0,462	0,432	0,432
Fe	13,00	1,7	1,8	7,8	7,480	4,400	0,800	0,087	0,009	0,000	
Mn	12,00	0,60	0,50	3,70	11,05	6,50	1,18	0,13	0,01	0,00	0,00
Al	6,00	0,12	0,13	6,56	10,20	6,00	1,09	0,12	0,01	0,00	1E-10
		< 0,1	0,70	3,50	5,10	3,00	0,55	0,06	0,01	0,00	1E-10

^a Nach Ishibashi (Ishibashi, 1994)

^b Konservative Mischung von dem Fluid der White Lady (285 °C) und Meerwasser (4 °C) in kg nach verschiedenen Verhältnissen bei einem Druck nach der Dampfsättigung

^c Nach Goldberg (Goldberg, 1963)

Tabelle 26: Fluidzusammensetzung der White Lady nach Ishibashi et al. (1994).

Komponente	Nord Fiji Becken
	White Lady
T (°C)	285
pH (25°C)	4.7
pH (in situ)	6.12
Cl- (mmolal)	255
Na+	210.00
CO2(aq)	14.48
SiO2(aq)	14.00
Kalium	10.50
Kalzium	6.50
Magnesium	0
SO4	0.00
H2S(aq)	2.00
Br- (umolal)	306.0
Li	200.0
B	465.0
Ba	5.9
Fe	13.0
Mn	12.0
Al	6.0

Die aus dieser linearen Abkühlung resultierende Zusammensetzung des Fluids stimmt nicht mit derjenigen der White Lady Fluide überein, vor allem der Anstieg der Konzentration des Chlors und Natriums von dem „Endmemberfluid“ zu den beprobten Fluiden läßt sich nicht auf diese Weise erklären.

Aus diesem Grund wurde die Abkühlung des White Lady Fluids durch die Beimischung des umgebenden Meerwassers untersucht.

In der Tabelle 25 sind die verschiedenen White Lady Fluide, welche von Grimaud et al. (1991) und Ishibashi et al. (1994) gewonnen wurden, tabelliert. Grimaud et al. (1991) beobachteten 1989 eine maximale Temperatur von 285 °C, Ishibashi et al. (1994) registrierten 1991 eine 20 °C geringere maximale Temperatur von 265 °C. Die White Lady Fluide 1, 2, 3 (siehe Tab.25) werden wegen ihrem hohen Anteil an gelösten Gasen und sehr geringen

Tabelle 27: Die Mineralgemeinschaft, die während der Abkühlung von 285 auf 2 °C präzipitiert wird

Minerale	Formel	Konzentration
Quarz	SiO ₂	13,97 mmol
Anhydrit	CaSO ₄	1,6 mmol
Hematit	Fe ₂ O ₃	6,5 umol
Mesolit	Na _{0,676} Ca _{0,657} Al _{1,99} Si _{3,01} O ₁₀ ·2,647H ₂ O, Zeolit	2,6 umol
Nontronit-Ca	Ca _{0,165} Fe ₂ Al _{3,33} Si _{3,67} H ₂ O ₁₂ , Smektit	6,0 umol
Muskovit	KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂ , Glimmer	1,9 umol
Kaolinit	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	2,9 umol
Nontronit-Na	Na _{0,33} Fe ₂ Al _{3,33} Si _{3,67} H ₂ O ₁₂ , Smektit	0,59 umol
Alunit	KAl ₃ (OH) ₆ (SO ₄) ₂	1,27 umol
Barit	BaSO ₄	5,58 umol

Konzentrationen des Chlors und der Metalle als phasensepariert angesehen. Diese Fluide wurden wahrscheinlich durch die Beimischung von Meerwasser beeinflusst. Während der Phasenseparation im Untergrund wurde die Zusammensetzung des aufsteigenden hydrothermalen Fluids, aus welchem das White Lady Fluid abzuleiten ist, deutlich verändert, das Fluid kühlte hierbei ab und konnte Mineralphasen präzipitieren und lösen. Darauf kondensierte die separierte Dampfphase und wurde mit Meerwasser, welches unterhalb der Meeresbodenoberfläche zirkuliert, in verschiedenen Verhältnissen gemischt (Grimaud et al., 1991; Ishibashi et al., 1994), was ebenfalls zu einer Veränderung der Fluide durch die Ausfällung und Lösung von Mineralphasen führte.

Das Fluid der White Lady, welches von Grimaud et al. (1991) auf eine Magnesiumkonzentration von Null extrapoliert wurde, dient als Endmemberzusammensetzung der Komponenten nach der Phasenseparation. Diese Zusammensetzung wird in dieser Arbeit in verschiedenen Verhältnissen mit Meerwasser, welches der Zusammensetzung nach Ishibashi et al. (1994) entspricht, konservativ gemischt, um drei Prozesse zu bestimmen: 1. Beimischung von Meerwasser zu dem W.L.E.F. 2. Gesteins–Fluid-Wechselwirkung 3. Beimischung einer Brine zu dem W.L.E.F..

So wurde das Endmemberfluid nach der Schätzung von Grimaud et al. (1991) in einem Verhältnis von 85% Endmemberfluid und 15 % Meerwasser (1/0.18) gemischt, außerdem in den Verhältnissen von 1/1, 1/10, 1/100, 1/1000 und 1/100000, "Endmemberfluid" zu

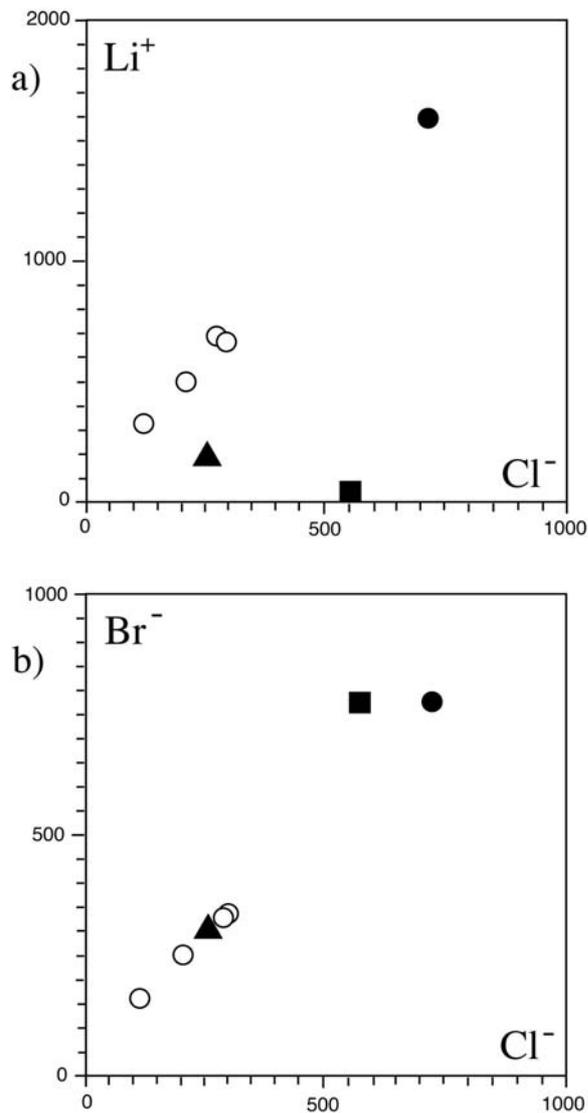


Abbildung 50: Die Konzentration von a) Li (umolal) und b) Br (umolal) gegen Cl (mmolal) in dem Kontext des Mischungsmodells nach den Daten von Grimaud et al. (1991) und Bischoff und Rosenbauer (1987). Leere Kreise = kondensierter Dampf; gefüllte Kreise = heißes Meerwasser; Vierecke = kaltes Meerwasser; Dreiecke = NFB „end-member“.

Meerwasser (siehe Tab.25). Der Grad der konservativen Mischung wurde nach folgender Methode berechnet:

$$C_{iEF} + x * C_{iMWF} = (1 + x) * C_{iMF} \quad (\text{Gleichung 26})$$

x = Masse des Meerwassers (kg)

C_{iEF} = Konzentration (mol/kg) der Komponente i in dem Endmemberfluid

C_{iMF} = Stoffmenge (mol/kg) der Komponente i in dem gemischten Fluid

C_{iMWF} = Stoffmenge (mol/kg) der Komponente i in dem Meerwasserfluid

Nach Auflösung nach x ergibt sich :

$$x = (C_{iMF} - C_{iEF}) / (C_{iMWF} - C_{iMF}) \quad (\text{Gleichung 27})$$

Das Fluid 1 weist eine Konzentration von **Chlor** und **Natrium** auf, die größer als diejenige dieser Komponenten in dem umgebendem Meerwasser ist. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang die Genauigkeit der analytischen Methode der gemessenen drei Fluide und des umgebenden Meerwassers. Ishibashi et al. (1994) berechneten eine Standardabweichung der analytischen Methode bei Chlor und Natrium von 3%. Daher kann die oben genannte Anreicherung von Na und Cl gegenüber Meerwasser auch durch die genannte Standardabweichung erklärt werden. Das White Lady Endmember Fluid (W.L.E.F.) weist eine stark verringerte Konzentration dieser Komponenten im Vergleich zu Meerwasser auf. Die Beimischung von Meerwasser zu dem W.L.E.F. kann die Konzentration dieser Elemente des Fluids 1 nicht erklären. Der Chlorgehalt des Fluids 2 ergibt sich aus der Mischung des W.L.E.F. und Meerwassers in einem Verhältnis von 1/21,8, derjenige des Fluids 3 resultiert aus der Mischung dieser Fluide in einem Verhältnis von 1/0.525. Chlor hat in den Ergebnissen der geochemischen Modellierung (s.o.) ein konservatives Verhalten zwischen einer Temperatur von 0 bis 300 °C bei einem Druck nach der Dampfsättigung gezeigt, daher ist nach diesen Ergebnissen nicht zu vermuten, daß Chlor in diesem Temperaturbereich aus dem Umgebungsgestein aufgenommen wurde. Seyfried et al. (1986) haben dagegen in Alterationsexperimenten des Basaltes im Labor gezeigt, daß Chlor aus hydrothermalen Lösungen bei höheren Temperaturen von > 350 °C entfernt und bei geringeren Temperaturen von < 350 °C zurück in die Lösung transportiert werden kann.

Von Damm und Bischoff (1987) diskutieren verschiedene potentielle Quellen und Senken des Chlors in Hinsicht auf hydrothermale Fluide des South Juan de Fuca Ridges. Neben Chlor sind auch die Konzentrationen der Komponenten Na, Ca, Sr und Br (siehe unten) des Fluids 1 ähnlich wie Chlor gegenüber dem Meerwasserniveau angereichert. Daher besteht auf der einen Seite bei dem Fluid 1 die Möglichkeit, daß sich eine Beimischung einer Brine, übereinstimmend mit dem von Von Damm (1988) postulierten Model der Mischung dreier Komponenten, unterhalb der Meeresbodenoberfläche ereignet hat, welche die Konzentration des Chlors und der anderen genannten Komponenten des Fluids 1 erklärt. Andererseits kann die Wechselwirkung zwischen dem Umgebungsgestein und dem Fluid auf diese gegenüber Meerwasser erhöhten Gehalte (siehe unten) eine Antwort geben.

Die Konzentration des **Natriums** des Fluids 2 und Fluids 3 kann mit der Beimischung von Meerwasser in einem Verhältnis von 1/12.74 und 1/0.6 erklärt werden. Natrium wurde in der zuvor genannten Modellierung oberhalb von 180 °C in dem hydrothermalen Fluid angereichert, daher ist wahrscheinlich, daß Natrium des Fluids 1 aus dem Umgebungsgestein in dem mit Meerwasser gemischten Fluid 1, welches Temperaturen des Bereichs zwischen 285 und 180 °C durchlaufen hat, angereichert wurde. Natrium wird nach den Ergebnissen der Modellierung (s.o.) vor allem von Smektitphasen und Albit kontrolliert.

Nach Humphris et al. (1998) gehört Albit zu den Mineralen, welche Natrium bestimmen. Von Damm (1988) schlägt in diesem Zusammenhang Feldspäte oder Chlorit-Tonminerale vor, welche auf die Löslichkeit des Natriums Einfluß nehmen. Daher könnte hieraus geschlossen werden, daß diese Mineralphasen, Smektit und Albit, für die Anreicherung des gemischten Fluids 1 an Natrium verantwortlich sind. Die Möglichkeit, daß Natrium ähnlich wie Chlor aus einer Brine stammt ist aber nicht auszuschließen.

Die Konzentration des wässrigen **Silikates** in dem Fluid 1 wurde von Ishibashi et al. (1994) nicht bestimmt. Der Silikatgehalt des Fluids 2 ist geringer als derjenige des Meerwassers und kann daher nicht durch konservative Mischung von Meerwasser zu W.L.E.F. erklärt werden. Bei diesem Fluid ist ähnlich wie oben bei Chlor und Natrium schon erläutert, die Standardabweichung der Meßmethode zu berücksichtigen. Die Standardabweichung der Analyseverfahren für Silikat beträgt 3 %. Das heißt, daß die Standardabweichung die Verarmung des Fluids 2 an Silikat gegenüber Meerwasser erklären kann. Die Konzentration des Fluids 3 an Silikat ergibt sich aus der konservativen Mischung in einem Verhältnis von 1/0.66 (Tab.33).

Die Konzentration des wässrigen Silikates der drei Fluide ist durch konservative Beimischung von Meerwasser erklärbar. Der Gehalt des Silikates des Fluids 1 und 2 ist um den Faktor 100 geringer als in dem W.L.E.F. und liegt in diesen Fluiden auf dem Niveau des umgebenden Meerwassers. Diese Konzentration des Silikates wird erst bei einer Beimischung von Meerwasser sehr großer Masse erreicht. Die Modellierung einer Mischung des Verhältnisses von $\leq 1/10E+5$ kg ergibt diese Konzentration des Silikates der Fluide 1 und 2 (siehe Tab.25). Der Silikatgehalt des Fluids 3 ist deutlich höher als in den Fluiden 1 und 2, dieser kann durch die Beimischung von Meerwasser in einem Verhältnis von 1/0.67 erklärt werden. Das W.L.E.F. ist bei einer Temperatur von 340-350°C, welche von Grimaud et al. (1991) vor der Beimischung von Meerwasser angenommen wird, und 200 bar an Silikat untersättigt (Fournier et al., 1982).

Bei der Temperatur der Probennahme des White Lady Fluids von 285 °C ist Silikat nach der geochemischen Modellierung übersättigt und präzipitiert in Form der Phase Quarz (siehe oben). Bischoff und Rosenbauer (1987) beobachteten experimentell die Konzentration des Silikates in der Dampfphase und der Brinephase während der Wechselwirkung von Basalt und Meerwasser bei dem Prozess der Phasenseparation. Obwohl die P-T Bedingungen unterschiedlich zu den Bedingungen der White Lady sind, ist es sinnvoll diese Ergebnisse zu berücksichtigen. Nach den Gleichungen von Fournier (1983) ist es möglich die Löslichkeit von Quarz nach der Dichte der Lösung, der Salinität und der Temperatur zu berechnen. Bischoff und Rosenbauer benutzten diese Gleichungen, um die vorhergesagten Konzentrationen des Silikates in der Flüssigkeit und der Dampfphase mit ihren experimentellen Beobachtungen zu vergleichen.

Butterfield et al. (1990) wählten eine Temperatur von 370 °C entlang der Dampfsättigungskurve für 3.5 wt % NaCl zum Vergleich und berechneten die Silikatkonzentration der Dampfphase des Axial Seamounts. In dieser Berechnung ergab sich eine Silikatkonzentration von ≤ 2 mmolal. Die Bedingungen von 370 °C entlang der Dampfsättigungskurve sind auch anwendbar auf das White Lady Fluid im Rahmen der Bedingungen der Phasenseparation. Daher zeigt dieser zu erwartende Gehalt des Silikates von ≤ 2 mmolal an, daß das White Lady Endmember Fluid einen stark erhöhten Silikatgehalt (14 mmolal) relativ zu dem genannten Wert aufweist. Butterfield et al. (1990) untersuchte 1986, 1987 und 1988 die hydrothermalen Fluide des Juan de Fuca Ridges, das Ashes Vent Feld, auf Boiling und darauffolgende Fluid-Gesteins- Wechselwirkung. Nach diesen Analysen liegt der Gehalt des Silikates des Infernos und Virgin Mound-Fluids zwischen 15.1 und 13.5 mmolal auf einem vergleichbaren Niveau mit dem White Lady Fluid. Butterfield et al. (1990) schlossen, daß diese erhöhte Konzentration des Silikates nicht durch Partitionierung von Silikat in die Dampfphase, sondern durch die auf die Phasenseparation folgende Gesteins-Wasser-Wechselwirkung und die relativ schnelle Lösung dieser Komponente aus dem Gestein erklärt werden kann. Diese Lösung aus dem Umgebungsgestein hängt von der Temperatur, dem Sättigungsgrad des Silikates, dem Gesteins-Wasser-Verhältnis und der Qualität der exponierten Gesteinsoberfläche (alteriert, frisch oder glasig) ab.

Wells und Ghiorso (1988) führten Modellberechnungen, welche die Kinetik der Silikat-Lösung aus Quarz und basaltischem Glas einschlossen, durch. Die Lösung von Basaltglas ist nach diesen Berechnungen um eine Größenordnung schneller als Quarz. Diese Berechnungen zeigen, daß ein dampfphasenangereichertes Fluid wie das White Lady Fluid die Quarzsättigung durch Gesteins-Wasser-Wechselwirkung erreichen kann. Die Ergebnisse der

durchgeführten Modellierungen (siehe Kapitel 2) machen deutlich, daß Quarz und eine Smektit-Chlorit Gruppe entscheidend für die Konzentration des Silikates in hydrothermalen Lösungen ist.

Tabelle 28: Ergebnisse der Basalt-Meerwasser-Wechselwirkung (siehe Kapitel 2) über den gesamten Reaktionsfortschritt (0 - 100 g/kg, Gesteins-Fluid-Verhältnis)

Komponente	T [°C]	Anreicherung/Verarmung des hydrothermalen Fluids	Löslichkeitskontrolle
Na	> 180	Anreicherung	Smektit, Albit
Cl	0 – 300	konservatives Verhalten	-
SiO ₂	0 – 300	Schnelles Erreichen der Sättigung	Smektit-Chlorit-Gruppe, Quarz
K	≤ 240	Verarmung	Smektit, Muskovit, Seladonit, Feldspäte, Chlorittone
Ca	0 – 300	Anreicherung	Anhydrit, Ca - Silikatphasen
Mg	0 – 300	Verarmung	Smektitphasen, Chlorit, Talk
SO ₄	0 – 300	Verarmung	Anhydrit

Verschiedene Wissenschaftler (Arnorsson, 1975; Humphris et al., 1998; Martin and Lowell, 2000; Seewald and Seyfried-Jr, 1990) sehen Quarz als einflussreich auf die Silikatkonzentration der hydrothermalen Lösung an. Daher kontrollieren vermutlich die Smektit-Chlorit-Gruppe, basaltisches Glas und Quarz die Silikatlöslichkeit des W.L.E.F. und der beprobten Fluide.

Kalium unterscheidet sich in seiner Konzentration des Fluids 1 und 3 gering von der des umgebenden Meerwassers und des W.L.E.F., daher zeigt dieses Element eine geringere Beimischung von Meerwasser als das Silikat für diese Fluide an. Die Ergebnisse der konservativen Mischung weisen bei einer Mischung in einem Verhältnis von $\leq 1/60$ die Konzentration des Kaliums des Fluids 1 und 3 auf. Die Konzentration des Kaliums des Fluids 2 kann durch die Beimischung von Meerwasser nicht erklärt werden, weil diese geringer als diejenige des Meerwassers ist. Die Standardabweichung der Analysemethode von Kalium

beträgt nach Ishibashi et al. (1994) 3 %. Diese Analysegenauigkeit kann die genannte Verarmung des Kaliums in dem Fluid 2 gegenüber Meerwasser klären.

Nach den Ergebnissen der geochemischen Modellierung (s.o.) zeigte sich bei 270 und 300 °C ein deutlicher Anstieg des gelösten Kaliums über die gesamte Skala des Gesteins-Wasser-Verhältnisses. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, daß die Isothermen von 210, 240, 270 und 300 °C die Konzentration des Kaliums in dem Fluid 1 und 3 von 10.2 mmolal auf dem gesamten Reaktionsfortschritt mindestens einmal kreuzen (siehe Abb.8). Daher könnten diese Ergebnisse einen Hinweis auf den Temperaturbereich, welchen das Fluid 1 und 3 vermutlich durchlaufen hat (300 – 210°C), geben. Die Isothermen dieser Reaktionen bei einer Temperatur von ≤ 240 °C können die Verarmung des Kaliums des Fluids 2 erklären, weil sie über den gesamten Reaktionsfortschritt betrachtet eine Verringerung der Konzentration des Kaliums aufweisen und Abschnitte der genannten Isothermen die Werte des W.L.E.F., des Fluids 2 und des Meerwassers widerspiegeln. Daher zeigen diese Ergebnisse, daß Kalium bei Temperaturen von ≤ 240 °C durch Gesteins-Fluid-Wechselwirkung in dem Fluid 2 auf den Wert von 9.7 mmolal verringert worden sein kann. Von Damm (1988) schloss aus dem K/K+Na-Verhältnis verschiedener chemischer Zusammensetzungen hydrothermalen Lösungen des Meeresbodens und der Anwendung empirischer Geothermometer, daß die Konzentration des Kaliums durch unspezifizierte Silikatphasen mineralogisch kontrolliert wird. Feldspäte oder Chlorittonen könnten hiernach Kalium bestimmen.

In den Reaktionen der geochemischen Modellierung (s.o.) ergab sich, daß die Löslichkeit des Kaliums durch die Minerale Smektit, Muskovit und Seladonit bestimmt wird.

Kalzium des W.L.E.F. unterscheidet sich auch kaum (ein Faktor von etwa 1.5 geringer) von der Meerwasserkonzentration dieses Elements. Das W.L.E.F. und die drei beprobten Fluide weisen relativ geringe Konzentrationen des Kalziums im Vergleich mit den Gehalten verschiedener bis jetzt beprobter hydrothermalen Austrittsfluide (Von Damm, 1988; Von Damm, 1995) auf. Der Gehalt des Kalziums des W.L.E.F. ist geringer als derjenige der 3 Fluide. Das Fluid 1 besitzt eine geringfügig höhere Konzentration des Kalziums, das Fluid 2 und 3 eine geringere als das Meerwasser. Aus diesem Grund kann ähnlich wie bei Cl, Na, Sr und Br die Beimischung von Meerwasser alleine nicht zur Erklärung des Gehalts des Fluids 1 herangezogen werden. Die Standardabweichung der Analysemethode des Kalziums beträgt nach Ishibashi et al. (1994) 3 %. Diese Standardabweichung ist deutlich größer als die Differenz an Kalzium zwischen Meerwasser und Fluid 1 und kann daher diese sehr gut erklären.

Die Berechnung des thermodynamischen Gleichgewichts von Anhydrit und Meerwasser ergibt einen erhöhten Kalziumgehalt des Meerwassers von 31 mmolal gegenüber der Zusammensetzung des Standardmeerwassers (siehe unten bei Mg und SO₄), die analoge Berechnung des thermodynamischen Gleichgewichts von Anhydrit und W.L.E.F. resultiert in einer Konzentration des Kalziums des W.L.E.F. von 5 mmolal. Die W.L.E.F.-Gesteins-Wechselwirkung kann nach diesem Ergebnis der geochemischen Modellierung nicht den Kalziumgehalt des Fluids 1 erklären. Die oben genannten Ergebnisse sprechen dafür, daß der Wert des Kalziums des Fluids 1 alternativ zu der Standardabweichung durch die Mischung von W.L.E.F. und Meerwasser, welches durch Gesteins-Fluid-Wechselwirkung an Kalzium angereichert wurde, erklärt werden kann. Die Beimischung einer Brine zu dem W.L.E.F. kann als dritte alternative Erklärung angesehen werden.

Die Fluide 2 und 3 lassen sich durch die Beimischung von Meerwasser zu dem W.L.E.F. in einem Verhältnis von 1/7.8 und 1/0.48 erklären, wobei die relativ geringen Kalziumwerte der betrachteten Fluide berücksichtigt werden müssen. Vermutlich lag die Konzentration des Kalziums des W.L.E.F. vor der Beimischung von Meerwasser oberhalb der Konzentration des Kalziums der drei Fluide übereinstimmend mit den bis jetzt verfügbaren Daten hydrothermaler Ausstrittfluide, welche eine vergleichbare geringe Salinität und Anreicherung an Gasphasen gegenüber Meerwasser aufweisen, wie diejenigen des Galapagos Spreading Centers, East Pacific Rises und des Juan de Fuca Ridges.

Die durchgeführten isothermalen Reaktionen der geochemischen Modellierung von (s. Kapitel 2) weisen eine Konzentration der Lösung des Kalziums von ≥ 10 bis ≤ 72 mmolal über den gesamten Reaktionsfortschritt und den gesamten Temperaturbereich von 0 bis 300 °C auf. Die Beobachtung von Grimaud et al. (1991), daß der Schornstein der White Lady ausschließlich aus Anhydrit besteht, unterstützt die These, daß Anhydrit das bestimmende Mineral für die Kalziumlöslichkeit in dem White Lady Fluid ist.

Diese Ergebnisse geben einen Überblick über die Löslichkeit des Kalziums in diesem untersuchten Temperaturbereich und unterstützen die These, daß die Präzipitation der Phase Anhydrit die Konzentration des Kalziums des hydrothermalen Fluids der White Lady verringert hat. Die isothermalen Reaktionen geben die Mineralsenken des Kalziums bei der entsprechenden Temperatur an. Hiernach sind Anhydrit und Smektit in dem Temperaturbereich vorwiegend verantwortlich für die Löslichkeitskontrolle.

Smektit wird kalziumreicher mit zunehmendem Gesteins-Wasser-Verhältnis. Daneben erscheint unter ebenfalls hohem Gesteins-Wasser-Verhältnis Epidot bei Temperaturen von 120 °C und darüber, und von 180 bis 270 °C präzipitiert Heulandit (Zeolith). Diese Minerale

können bei den genannten Temperaturen unter Berücksichtigung des Gesteins-Wasser-Verhältnisses Einfluß auf die Löslichkeit des Kalziums nehmen. Kawahata und Furuta (1986) berichteten von dem DSDP Loch 504B über Phasen, welche Kalzium enthalten, hierzu gehören Aktinolith (Amphibol), Epidot und Titanit (CaTiSiO_5). Alt (1985) hat Kalzium auch in Analysen der Chlorit-Ton-Mischungen gefunden.

Magnesium und Sulfat sind in dem W.L.E.F. von Grimaud et al. (1991) auf null extrapoliert worden, das Fluid 1 besitzt eine Konzentration dieser beiden Komponenten, die ähnlich wie Kalzium, Chlor, Natrium, Strontium und Brom geringfügig höher als die des Meerwassers ist. Die Standardabweichung der Analysemethode des Kalziums und Magnesiums beträgt nach Ishibashi et al. (1994) 3 %. Die genannte Genauigkeit der Werte kann die Anreicherung des Fluids 1 an Magnesium und Sulfat gegenüber Meerwasser erklären. Da davon auszugehen ist, daß die Endmemberzusammensetzung eine äußerst geringe Konzentration dieser Komponenten nahe 0 aufweist, kann die Beimischung von Meerwasser die Zusammensetzung von Fluid 1 nicht erklären.

Der Gehalt des Magnesiums und Sulfat des Fluids 2 kann durch eine Mischung mit Meerwasser erklärt werden, wobei sich das Verhältnis der Mischung zwischen Magnesium und Sulfat unterscheidet. Im Gegensatz zu Fluid 2, ergibt sich für das Fluid 3 ein Verhältnis der Beimischung von Meerwasser, welches sowohl die Konzentration des Magnesiums als auch des Sulfates wiedergibt. Eine zweite Erklärung für den erhöhten Gehalt des Sulfates des Fluids 1 gegenüber Meerwasser kann neben der Messgenauigkeit (siehe oben) die Beimischung von Meerwasser geben, welches mit einem Sulfathaltigen Umgebungsgestein wie Anhydrit reagiert hat und hierdurch erhöhte Gehalte des Sulfates und Kalzium aufweist. Nimmt man an, daß Meerwasser im Gleichgewicht mit Anhydrit des Umgebungsgesteins ist, kann das Meerwasser bis zu der Sättigung des Anhydrits Sulfat und Kalzium aufnehmen. Nach der geochemischen Modellierung des Gleichgewichts von Meerwasser und Anhydrit steigt die Konzentration der Sulfatkomponente des Meerwassers bei einer Temperatur von 4 °C und einem Druck nach der Dampfsättigungskurve auf etwa 50 mmolal und die des Kalziums wie oben schon genannt auf etwa 31 mmolal. Die Löslichkeit des Anhydrits ist in dem Meerwasser bei 4 °C, wie die genannten Werte zeigen, relativ groß im Vergleich zu der Standardzusammensetzung des Meerwassers (Drever, 1988; Mottl and McConachy, 1990; Von Damm et al., 1985). Die Lösung der genannten Komponenten aus dem Umgebungsgestein des Anhydrits in das Meerwasser und die darauffolgende Beimischung zu dem W.L.E.F. kann die erhöhte Konzentration des Sulfates und Kalzium des Fluids 1 erklären. Das W.L.E.F. kann im Gegensatz zu Meerwasser nur 0.4 mmolal Sulfat im

Gleichgewicht mit Anhydrit lösen und kann nicht als Quelle für die Anreicherung in dem Fluid 1 herangezogen werden.

Mit Hilfe der geochemischen Modellierung wurde bei dem gleichen Temperatur- und Druckverhältnis wie oben die Titration von Mg-Saponit ($\text{Mg}_{3.165}\text{Al}_{1.33}\text{Si}_{3.67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, Smektit), einem Mineral der Grünschieferfazies, welches Magnesium trägt, in Meerwasser bis zum Gleichgewicht des Meerwassers mit diesem Mineral berechnet. Es ergibt sich, daß das Meerwasser bis zur Sättigung des Mg-Saponits Magnesium aufnehmen kann. Das Meerwasser erreicht hierbei eine maximale Konzentration des Magnesiums bei der Sättigung des Saponits von 154 mmolal Mg (Tab.29), daher kann es Magnesium aus einem Nebengestein der Grünschieferfazies aufnehmen. Dies kann die Anreicherung des Fluids 1 an Magnesium gegenüber Meerwasser als Alternative zu der Messgenauigkeit erklären.

Eine analoge Berechnung der Titration von Mg-Saponit wurde auch für das W.L.E.F. durchgeführt. Hierbei ergab sich, daß die Konzentration des Magnesiums des W.L.E.F. bis zur Sättigung des Mg-Saponits 0.08 mmolal betrug. Tivey et al. (1995) stellten bei ihrer Untersuchung der Fluid-Gesteins-Wechselwirkung und Beimischung von Meerwasser im Bereich des TAG fest, daß hier das White Smoker Fluid etwa 7 mmolal Magnesium enthält. Hieraus kann geschlossen werden, daß die Aufnahmekapazität des W.L.E.F. bezüglich Magnesium deutlich geringer als Meerwasser ist und die Anreicherung des Magnesiums in dem Fluid 1 nicht erklären kann.

Die löslichkeitsbestimmende Mineralphase für Sulfat ist nach der geochemischen Modellierung von (s.o.) ausschließlich Anhydrit, die Löslichkeit des Magnesiums wird vor allem von Smektitphasen, Chlorit und Talk kontrolliert (Tab.28).

Wasserstoffbisulfid besitzt nach Ishibashi et al. (1994) in dem W.L.E.F. eine Konzentration von 2 mmolal. Die Konzentration des $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$ des gemischten Fluids der Modellierung sinkt stark mit abnehmendem W.L.E.F./Meerwasser Verhältnis der konservativen Mischung, so ist der H_2S Gehalt des gemischten Fluids bereits bei einem Mischungsverhältnis von 1/10 um zwei Größenordnungen und bei einem Verhältnis von 1/100 um viele Größenordnungen kleiner als die H_2S Konzentration des W.L.E.F.. Der Gehalt von $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$ des Fluids 1 und 2 ergibt sich bei einer konservativen Mischung des W.L.E.F. und Meerwassers in einem Verhältnis von 1/0.79 und 1/0.09.

Das Fluid 3 enthält mehr $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$ als das W.L.E.F und ist daher durch die konservative Beimischung von Meerwasser nicht zu klären. Die Standardabweichung der Analysemethode des $\text{HS}(\text{aq})$ beträgt nach Ishibashi et al. (1994) 1 % und kann daher die genannten Werte nicht

Tabelle 29: Löslichkeit der verschiedenen Komponenten in W.L.E.F. und umgebenden Meerwasser (Ishibashi et al., 1994) (siehe Kontext)

Komponente	W.L.E.F.	Meerwasser
Ca ^a [mmolal]	5	31
SO ₄ ^a	0.4	50
Mg ^b	0.08	154
Br ^c	> 1	> 1
Li ^d	< 50	> 100
Sr ^e	≤ 1.2	≤ 4
B ^f	> 1000	≤ 350

Die Löslichkeit der Komponenten wurde mit Hilfe der Titration von Anhydrit^a, Saponit-Mg^b, NaBr^c, Li₂O^d, SrO^e und B(OH)₃^f bei einer Temperatur von 4 °C und einem Druck nach der Dampfsättigung in das Meerwasser und das W.L.E.F. berechnet.

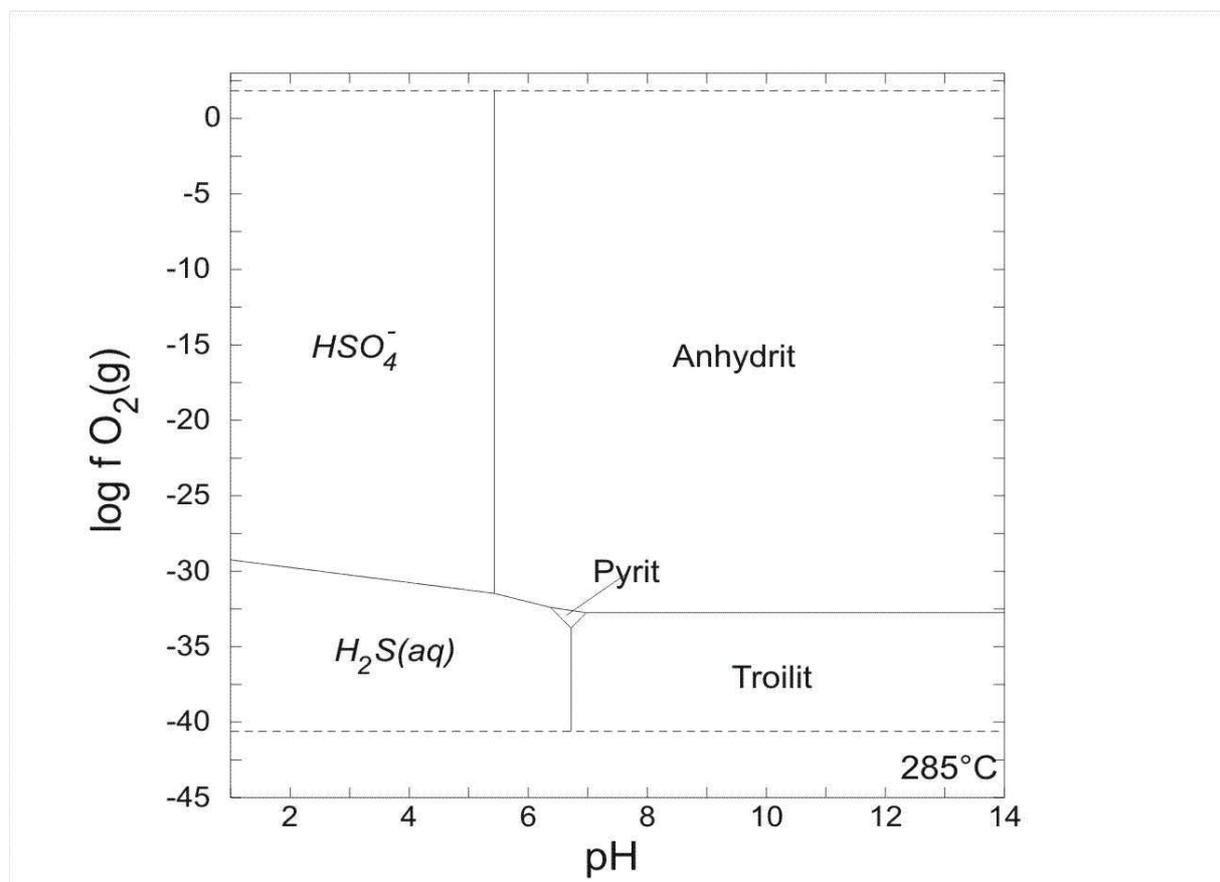


Abbildung 51: Aktivität ($\log f \text{O}_2(\text{g})$) –Aktivität (pH-Wert)-Diagramm: SO₄; T = 285 °C; Druck nach der Dampfsättigung; Die berücksichtigten Komponenten in diesem System sind entsprechend Tab.26: H₂O, SO₄, H₂S(aq), Cl, Na, HCO₃, SiO₂(aq), K, Ca, FeCl und Mn.

aufklären. Dies weist darauf hin, daß das W.L.E.F. einen ursprünglich höheren Gehalt des H₂S(aq) besessen hat oder Gesteins-Fluid-Wechselwirkung für eine H₂S-Anreicherung in dem Fluid nach oder während der Beimischung von Meerwasser gesorgt hat.

Die Beimischung von Meerwasser kann eine Ausfällung von S-Phasen wie Anhydrit und sehr untergeordnet Barit bewirkt haben, welche das White Lady Fluid an S verarmten.

Der berechnete in situ pH-Wert des W.L.E.F. bei 285 °C von 6.1 läßt die Stabilität von H₂S in dem Mischfluid nicht zu, nahezu der gesamte Gehalt von 2 mmolal H₂S wandert unter diesem Säuregrad und der Sauerstoffugazität von etwa e^{-30} -fällt während der Beimischung von Meerwasser- des Fluids in die Speziation der wässrigen Sulfate (Abb.51). Daher spricht der genannte in situ pH und Sauerstoffugazität gegen ein Ausfällung des H₂S in Form von Fe-Sulfiden wie Pyrit und für die Präzipitation von Anhydrit und Barit während der Beimischung von Meerwasser und außerdem für eine Anreicherung des H₂S in den 3 Fluiden durch Gesteins-Fluid-Wechselwirkung (siehe unten).

Von Damm (1988) hat aus dem Vergleich des Produkts von Fe und H₂S verschiedener hydrothermalen Fluide unter dem Ozean geschlossen, daß die H₂S Konzentration dieser durch die Löslichkeit der Eisensulfide kontrolliert wird. Die Ergebnisse der geochemischen Modellierung (s. Kapitel 2) zeigte übereinstimmend mit Von Damm (1988), daß die Löslichkeit des H₂S der Lösung vor allem von Fe- und Cu- Sulfiden bestimmt wird. Es kann vermutet werden, daß die drei beprobten Fluide der White Lady durch Gesteins-Fluid-Wechselwirkung mit Fe-Cu-Sulfidmineralen an H₂S angereichert wurden.

Der Gehalt des **Broms** in dem W.L.E.F. beträgt 37 % der Konzentration dieser Komponente des Meerwassers von 832 umolal. Dieses Element wurde vermutlich ähnlich wie Cl während der Phasenseparation in der Brine angereichert. Nach einer Mischung von 1 kg W.L.E.F. zu 1e+3 kg Meerwasser erreicht das gemischte Fluid die Konzentration dieses Element auf dem Niveau des Meerwassers.

Das Fluid 1 besitzt einen höheren Gehalt an Brom als Meerwasser, daher kann ähnlich wie bei den Elementen Natrium, Chlor, Kalzium, Sulfat und Magnesium eine Beimischung von Meerwasser nicht die Konzentration des Broms erklären. Die Standardabweichung der Analyseverfahren des Br beträgt nach Ishibashi et al. (1994) 5 %. Die genannte Genauigkeit dieser Komponente kann die Anreicherung des Fluids 1 an Br gegenüber Meerwasser klären. Die Konzentration des Br des Fluids 2 und 3 kann mit der Beimischung von Meerwasser erklärt werden.

Eine Erklärung für diese Anreicherung in Fluid 1 gegenüber Meerwasser kann sein, daß diese Komponente vermutlich durch die Reaktion zwischen dem Umgebungsgestein und dem Fluid angereichert worden ist. Die Modellierung der Titration von 1 mmol NaBr in das Meerwasser der Zusammensetzung nach Ishibashi (1994) bei 4 °C und einem Druck nach der Dampfsättigung ergibt, daß das Meerwasser an Br untersättigt ist und > 1 mmol Br

aufnehmen kann. Nach der Aufnahme von 1 mmol Br ist das Meerwasser an Phasen, welche mit Br aufgebaut sind (KBr, MgBr₂, MgBr₂:6H₂O, NaBr), noch untersättigt.

Dieses Ergebnis verdeutlicht die hohe Löslichkeit des Br in Meerwasser. Daher ist es möglich, daß der Gehalt und die Löslichkeit des Br in dem Meerwasser durch das Umgebungsgestein kontrolliert und in dem Fall des Fluids 1 relativ zu Meerwasser angereichert wird.

Lithium kann in dem Fluid 1 und nicht durch die konservative Beimischung von Meerwasser erklärt werden, weil der Lithiumgehalt des Meerwassers geringfügig größer als derjenige des Fluids 1 und Fluids 2 ist. Diese Komponente ist in dem W.L.E.F. mit einer Konzentration von 200 umolal gegenüber Meerwasser um einen Faktor von etwa 8 angereichert.

Das Fluid 1 und 2 enthalten etwa 20 umolal dieser Komponente. Die Standardabweichung der Analyseverfahren des Li beträgt nach Ishibashi et al. (1994) 2 %. Diese genannte Genauigkeit kann die Verarmung des Fluids 1 und 2 an Lithium gegenüber Meerwasser nicht erklären. Aus diesem Grund muß der Gehalt des Lithiums dieser Fluide oder eines der beiden gemischten Komponenten verringert worden sein. Vermutlich kann hier die Reaktion zwischen dem Fluid und dem Umgebungsgestein die Verringerung erklären.

Das Fluid 3 kann durch die konservative Mischung von W.L.E.F. und Meerwasser in einem Verhältnis von 1/0.4 erklärt werden. Seyfried et al. (1984) wiesen in experimentellen Arbeiten bei geringen Wasser-Gesteins-Verhältnissen nach, daß Lithium sich wie ein „lösliches“ Element verhielt. Mit Hilfe der geochemischen Modellierung wurde die Titration von 700 mmol Li₂O in Meerwasser bei analogem Temperatur- und Druckverhältnis wie bei den oben genannten Modellierungen berechnet. Es ergibt sich nach dieser Berechnung, daß Meerwasser Lithium bis zur Sättigung des Lithiums sehr stark aufnehmen kann, das heißt der Gehalt des Meerwassers an Lithium Li steigt bis auf maximal etwa 1400 mmolal. Die Gesamtzusammensetzung des Fluids verändert sich durch die Titration von Li₂O während dieser Gleichgewichtsberechnung sehr stark. Der pH-Wert der Lösung steigt bis auf 14 und die OH-Konzentration steigt stark; mit zunehmendem Li-Gehalt der Lösung präzipitieren vorherrschend Dolomit, Bruzit, Portlandit und Kalzit. Die Lösung von Dolomit und Kalzit in dem Fluid während der Titration von Li₂O sorgt für den genannten starken Anstieg des pH-Werts und der OH-Konzentration. Nach der Titration von etwa 250 mmolal Li₂O hat sich die vorherige NaCl-Lösung zu einer LiCl-Lösung verändert.

Eine ähnliche Modellierung wurde für das W.L.E.F. durchgeführt, hier ergibt sich bei der genannten Sättigung ein deutlich geringerer Wert von etwa 50 mmolal Li. Diese Ergebnisse machen deutlich welche hohe Aufnahmekapazität das Meerwasser und untergeordnet auch

das W.L.E.F. in Bezug auf Li besitzen, im Gegensatz zu der erfolgten Verarmung des Li in den betrachteten Fluiden. Das Fluid 1 und 2 muß aufgrund der Zusammensetzung dieser genannten Fluide (Tab.25) aber eine Verarmung der Konzentration des Li erfahren haben, welche nur durch die Ausfällung von Li in Form einer der genannten Mineralphasen oder durch die Wechselwirkung mit dem Umgebungsgestein erklärt werden kann. In der Tabelle 30 zeigen die verschiedenen Austrittsfluide Li-Gehalte mit einem maximalen und minimalen Wert zwischen < 20 bis 689 umolal des Galapagos Spreading Centers, East Pacific Rises und des Juan de Fuca Ridges.

Die **Strontium**konzentration des W.L.E.F. ist deutlich geringer als diejenige der beprobten White Lady Fluide, der Gehalt des Sr des Meerwassers ist um 8 Größenordnungen geringer als derjenige des W.L.E.F. und der White Lady-Fluide (Tab.25). Aus diesem Grund fällt der Gehalt des Sr schon stark bei einem großen Verhältnis der Mischung von W.L.E.F. und Meerwasser. Die gegenüber dem W.L.E.F. etwa um einen Faktor von > 2 erhöhte Konzentration des Sr in den White Lady Fluiden zeigt, daß die alleinige Beimischung des Meerwassers die Gehalte des Sr der White Lady Fluide nicht erklären kann. Die Standardabweichung der Analyseverfahren des Sr beträgt nach Ishibashi et al. (1994) 2 %. Die genannte Genauigkeit des Werts kann die Anreicherung des Fluids 1 Sr gegenüber Meerwasser nicht erklären.

Von Damm (1988) leitete mit Hilfe des Na-K-Ca Geothermometers und des Ca/Sr-Verhältnisses die Vermutung ab, daß Sr von den gleichen Mineralphasen wie Ca löslichkeitskontrolliert wird. Zu diesen Phasen gehören vor allem Anhydrit und mehrere Ca-Silikatphasen.

Gesteinsanalysen des DSDP Lochs 504 B weisen einen Anstieg des Sr auf, welcher anzeigt, daß Sr in eine oder mehrere Alterationsphasen eingebaut wurde (Kempton et al., 1985).

Die Löslichkeit des Sr wurde mit der geochemischen Modellierung der Titration von 1 mmol SrO in Meerwasser bei dem oben genannten Druck- und Temperaturverhältnis untersucht. Hierbei wird die Löslichkeit des Sr in Meerwasser vor allem von den Mineralphasen Strontianit (SrCO_3) und Cölestin (SrSO_4) bestimmt. Bei der Sättigung dieser Phasen steigt der Gehalt der Sr-Komponente des Meerwassers auf maximal 4 mmolal an, dieser Gehalt liegt zwei Größenordnungen oberhalb desjenigen des W.L.E.F. und der White Lady Fluide und 4 oberhalb des Meerwassers.

Außerdem wurde analog die Löslichkeit des W.L.E.F. untersucht, hierbei ergibt sich, daß die gleichen oben genannten Phasen die Löslichkeit des Sr bestimmen. Bei Erreichen der Sättigung dieser Mineralphasen erreicht das W.L.E.F. einen Gehalt des Sr von 1.2 mmolal .

Diese Ergebnisse sprechen dafür, daß die Konzentration des Sr in dem W.L.E.F. ursprünglich deutlich höher war als diese sich nach den Analysen der beprobten Fluide ergibt, dafür sprechen auch Vergleichswerte anderer Austrittsfluide mit ähnlicher Chlorinität (Tab.30).

Es ist zu vermuten, daß die genannten Phasen die Löslichkeit des Sr der untersuchten Fluide durch Gesteins-Fluid-Wechselwirkung beeinflusst haben.

Rubidium kann in den 3 Fluiden durch konservative Mischung zwischen W.L.E.F. und Meerwasser erklärt werden.

Der **Borgehalt** des Fluids 1 liegt mit 447 μmolal gering oberhalb der Meerwasserkonzentration und nahe unterhalb des W.L.E.F. Das Ergebnis der Berechnung der konservativen Mischung in einem Verhältnis von 1/1.2 und 1/0.1 gibt die Konzentration des Bors in dem Fluid 1 und 3 wieder.

Das Fluid 2 ist gegenüber Meerwasser an B verarmt und kann daher nicht durch konservative Beimischung von Meerwasser erklärt werden. Die Genauigkeit der analytischen Methode B zu messen, beträgt 3 % nach Ishibashi et al. (1994). Das heißt, daß diese Genauigkeit den geringeren Gehalt des Fluids 2 erklären kann. Wahrscheinlich kann für diese Verarmung auch die Gesteins-Fluid-Wechselwirkung verantwortlich sein. Der Gehalt des W.L.E.F. liegt auf einem vergleichbaren Niveau mit den austretenden Fluiden des 11° N East Pacific Rises (Tab.30). Die Untersuchung der Löslichkeit des Bors mit Hilfe der geochemischen Modellierung unter den oben schon genannten Druck und Temperaturbedingungen zeigt die hohe Löslichkeitskapazität des Meerwassers an B von ≤ 350 mmol pro Kilogramm.

Bei dieser maximalen Löslichkeit des B hat die Lösung das Gleichgewicht mit der Mineralphase des B(OH)_3 (Borsäure) erreicht. Untergeordnet von B(OH)_3 wird die Sättigung des B von den thermodynamischen Daten der Mineralphasen Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, Borat), B_2O_3 und B bestimmt. Durch die Titration der Borsäure verändert sich der pH-Wert des Meerwassers um 0.5 pH-Einheiten und der ursprünglich in dem Meerwasser vorliegende Dolomit wird als pH-Puffer vollständig aufgelöst. Nach gleichen Bedingungen wurde mit Hilfe der Titration von B(OH)_3 in das White Lady-Fluid die Löslichkeit des B in diesem Fluid untersucht. Diese Ergebnisse zeigen, daß das W.L.E.F. eine höhere Löslichkeit des B als das Meerwasser besitzt, welche auch von den oben genannten Mineralphasen bestimmt wird. Nach der Titration von 1 mol B(OH)_3 ist das Fluid noch immer an den B-Phasen untersättigt. Der pH-Wert fällt ähnlich wie in der genannten Titration des Meerwassers um 0.5 pH-Einheiten.

Barium liegt in abnehmender Größenfolge in dem W.L.E.F., dem Fluid 3, 1, 2 und dem Meerwasser vor. Die Beimischung von Meerwasser kann als Erklärung des Bariumgehaltes

Tab.30: Gemessene Konzentrationen^k ausgesuchter gelöster Spezies und der pH-Wert (25°C) axial ausgetretener heißer Fluide, welche Konzentrationen des gelösten Chlor enthalten, die gegenüber Meerwasser deutlich verringert sind.

Austritt	Jahr	Temp (°C)	pH	Na (mm)	K (mm)	Ca (mm)	SiO ₂ (mm)	Cl (mm)	?H ₂ S (mm)	Fe (µm)	Mn (µm)	Zn (µm)	Cu (µm)	Ba (µm)	B (µm)	Li (µm)	Sr (µm)
Tropical Eastern Pacific (north) Galapagos Spreading Center ^d	1977	? 13		259? 487	18.7? 18.8	24.6? 40.2	21.9	322? 595			0.360? 1.14			>17.2? >42.6		689? 1142	87
9-10°N, East Pacific Rise ^b																	
9°29'-40'N	1991			270? 660	9.44? 418	12.2? 46.9	18.1? 21.0	330? 860	5.9? 9.9	0.384? 3.36	0.314? 0.854					268? 1290	34.4? 100
9°46'-54'N	1991	? 4.03	? 2.5		? 3.7	? 2.1	2.7? 20.0	32? 330	? 1.10	0.723? 5.9	0.109? 0.283					<20? 98.1	? 20
11°N, East Pacific Rise ^c	1984	3.47	3.1? 3.7	290? 577	18.7? 32.9	10.6? 35.2	14.3? 20.6	338? 686	4.4? 122	1.64? 6.47	0.742? 0.925				451? 493	484? 884	38? 135
North Cleft, Juan de Fuca Ridge ^d																	
Tripod	1988	60			12,4	9,75	15,6	322	7,2	0,02	0,4					216	
Diffuse Composite	1988	60			12	12,4	15,4	330	6		0,411					245	
Juan de Fuca Ridge, Axial Seamount, ASHES ^e																	
Crack	1986,1987 and 1988	217		209	11,5	18,9		258		13,3	287	2,6	0,1			286	81

^a Edmond et al. [Edmond, 1979 #276; Edmond, 1979 #277]

^b Von Damm, unveröffentlichte Daten ; Lilley et al. [Lilley, 1992 #280; Lilley, 1991 #279]; Von Damm et al. [Von Damm, 1994 #281]

^c Bowers et al. [Bowers, 1988 #260]; Chan et al. [Chan, 1993 #283]

^d Daten von Butterfield und Massoth [, 1994 #316]

^e Daten von Butterfield et al. [Butterfield, 1990 #275]

der drei genannten Fluide verwendet werden. Die verschiedenen Verhältnisse der Mischung, welche die Ba-Gehalte der Fluide erklären, sind in Tabelle 25 dargestellt. Butterfield et al. (1990) maß in dem Fluid des Virgin Mound (Ashes-Feld), das eine geringere Chlorinität von 176 mmolal als das W.L.E.F. aufweist, eine Ba-Konzentration von 6 μ molal, diese liegt auf einem ähnlichen Niveau wie diejenige des W.L.E.F. Das Galapagos Spreading Center ist durch eine erhöhte Chlorinität gegenüber dem W.L.E.F. charakterisiert und weist im Vergleich mit dem W.L.E.F. deutlich erhöhte Gehalte des Ba auf (Tab.30). Diese Vergleichswerte sprechen für einen initial höheren Gehalt des Ba in der Endmemberzusammensetzung des White Lady-Fluids. Nach der geochemischen Modellierung der Beimischung von Meerwasser zu dem W.L.E.F. zeigt sich schon bei einer Beimischung von geringer Meerwassermasse in einem Verhältnis von $\leq 1/1$ (W.L.E.F./Meerwasser), daß die Mineralphasen Clinoptilolit ($\text{Na}_{.954}\text{K}_{.543}\text{Ca}_{.761}\text{Mg}_{.124}\text{Sr}_{.036}\text{Ba}_{.062}\text{Mn}_{.002}\text{Al}_{3.45}\text{F}$, Zeolith), Heulandit ($\text{Ba}_{.065}\text{Sr}_{.175}\text{Ca}_{.585}\text{K}_{.132}\text{Na}_{.383}\text{Al}_{2.165}\text{Si}_{6.835}\text{O}_{18}:6$, Zeolith) und Barit (BaSO_4) in dem gemischten Fluid übersättigt werden. Außerdem präzipitiert Barit in der geochemischen Modellierung der Beimischung von Meerwasser zu dem W.L.E.F. (siehe unten). Daher kann vermutet werden, daß der Ba-Gehalt ursprünglich höher lag als derjenige des W.L.E.F. und durch die Ausfällung der genannten Ba-tragenden Mineralphasen während der Beimischung von Meerwasser und der damit verbundenen Abkühlung in dem White Lady Fluid verringert wurde.

Die Spurenmetalle **Fe** und **Mn** sind in Meerwasser sehr gering, $< 0,001$ μ molal (Drever, 1988; Mottl and McConachy, 1990; Von Damm et al., 1985), vorhanden. Diese Spurenmetalle wurden von Ishibashi et al. (1994) in Meerwasser nicht nachgewiesen. In dem W.L.E.F. betragen diese Komponenten des Fe und Mn 13 und 12 μ mol pro Kilogramm (Ishibashi et al., 1994). Die Ergebnisse dieser konservativen Mischung zeigen, daß das Mischungsverhältnis von 1/2.5 bis 1/25 (Tab.31) den Eisengehalt des Fluids 1, 2 und 3 widerspiegelt. Bei diesem konservativen Beimischungsereignis wird nicht berücksichtigt, daß Eisen während der Beimischung und der damit verbundenen Abkühlung in Form von Mg-Nontronit präzipitieren und damit dem gemischten Fluid entzogen werden kann (siehe unten, geochemische Modellierung der Beimischung von Meerwasser). Die konservative Beimischung von Meerwasser in einem Verhältnis von 1/0.83 bis 1/99 ergibt die Konzentration des Mangans des Fluids 1, 2 und 3 (Tab.31). Wie in Kapitel 3 ausgeführt, erreicht Mangan mit der geringsten relativen Rate gegenüber Cu, Fe und Zn bei der Abkühlung von 400 auf 300 °C nach Seewald und Seyfried (1990) eine neue steady-state-Konzentration, diese Ergebnisse zeigten eine tendenzielle Übereinstimmung mit der durchgeführten theoretischen Berechnung

Tabelle 31: Berechnete Konzentrationen der konservativen Mischung zwischen W.L.E.F. und Meerwasser für die drei White Lady Fluide nach verschiedenen Elementen: - = nicht möglich

Berechnet nach dem Element	Verhältnis der Mischung der drei White Lady Fluide [W.L.E.F./Meerwasser in kg]		
	Fluid 1	Fluid 2	Fluid 3
Cl	-	1/21,85	1/0.52
Na	-	1/12.72	1/0.60
CO ₂	n. a.	-	1/0,66
SiO ₂ (aq)	1/1e+5	1/1e+5	1/0,67
K	≤ 1/60	-	≤ 1/60
Ca	-	1/7.72	1/0.48
Mg	-	1/24.9	1/0.56
SO ₄	-	1/138	1/0.56
H ₂ S(aq)	1/0.79	1/0.09	-
Br	-	1/7.09	1/0.85
Li	-	-	1/0.40
Sr	-	-	-
Rb	1/4.18	1/3.89	1/0.13
B	1/1.2	-	1/0.1
Ba	1/9.35	1/38.33	1/0.78
Fe	1/20.67	1/25.00	1/2.51
Mn	1/99	1/91.31	1/0.83

n.a. = Diese Komponente konnte nicht analysiert werden

der Abkühlung des hydrothermalen Fluids zwischen 300 und 0 °C. Diese Resultate verdeutlichen den konservativen Charakter des Mangans gegenüber Eisen, welches hochsensitiv auf Temperaturveränderungen reagiert. Bei der geochemischen Modellierung der Beimischung von Meerwasser unter Berücksichtigung der Präzipitation bis zu einem Verhältnis von 1/100 fällt die Mineralphase Pyrolusit bei einer Masse des beigemischten Meerwassers von 20 kg (Verhältnis der Mischung 1/20) aus und bleibt bis zu einem Verhältnis von 1/100 gesättigt als Präzipitat in der Lösung. Dieser Prozess verringert die Mangankonzentration deutlich auf etwa 1e-2 µmolal in dem Fluid.

5.3. Geochemische Modellierung der Beimischung von Meerwasser nach dem aus der konservativen Mischung abgeleiteten Mischungsgrad

Nach der obigen Bestimmung der konservativen Mischungsgrade des W.L.E.F. mit Meerwasser ist das Fluid 3 von den drei beprobten Fluiden am direktesten von der Zusammensetzung des W.L.E.F. abzuleiten. Die Fluide 1 und 2 wurden durch die starke Beimischung von Meerwasser und Gesteins-Fluid-Wechselwirkung sehr verändert (siehe oben), so dass diese nicht als Grundlage für die geochemische Modellierung der Beimischung von Meerwasser geeignet sind. Das Fluid 3 weist den geringsten Mischungsgrad von Meerwasser zu dem W.L.E.F. auf und zeigt die größte Übereinstimmung der Mischungsgrade der verschiedenen Komponenten unter den drei Fluiden. Das Fluid 3 eignet sich daher von den drei Fluiden am besten für die geochemische Modellierung der Beimischung von Meerwasser. Die Komponenten Cl, Na, SiO₂, Ca, Mg, SO₄, Br, Li, Rb, B, Ba und Mn weisen einen Grad des Mischungsverhältnisses zwischen 1/0.1 und 1/0.85 auf. Die Speziation in diesem Intervall des Verhältnisses der Mischung von W.L.E.F. und Meerwasser wurde in einem geschlossenen System modelliert. Die Berechnungen ergeben die Präzipitation von Anhydrit und untergeordnet Talk, Mg-Saponit, Mg-Nontronit und Barit aus dem Fluid (Tab.32). Die Ausfällung von Quarz und den Polymorphen des Silikates wurde unterdrückt.

Die Streuung der gesamten Daten, der drei geprobten Fluide, Meerwasser und des W.L.E.F. von Ishibashi et al. (1994) und der oben genannten verschiedenen Mischungsgrade der berechneten konservativen Mischung wurde mit Hilfe der Berechnung des Bestimmtheitsmaßes der Regression betrachtet. Magnesium und Natrium zeigen hier das größte Bestimmtheitsmaß (s. Anhang). Nach dem berechneten Grad der konservativen Mischung (s. Tab.31) der Elemente Na und Mg des beprobten Fluids 3 wurde ein Mischungsgrad von 1/0.6 angenommen und das Modellergebnis dieser Mischung von W.L.E.F. und Meerwasser mit dem Fluid 3 verglichen (Tab.33). Da Sr des Fluids 3 nicht alleine durch die Beimischung von Meerwasser erklärt werden kann und vermutlich einen ursprünglich höheren Wert besaß (s. Sr), wurde diese Komponente des W.L.E.F. vor der Mischung korrigiert.

Am Ende der Mischung ergibt sich eine Phasengemeinschaft der Minerale von Anhydrit, Talk, Mg-Saponit und Mg-Nontronit aus dem Fluid (Tab.32). Während der Forschungsfahrt HYFIFLUX II wurde von Halbach et al. (1998) unter anderem eine Dredge-Probe aus dem Bereich der White Lady in dem Nord Fiji Becken gewonnen. Diese ist von Basalt dominiert; ein Fragment von etwa 0.4 kg ist aus Barit und Anhydrit aufgebaut und befindet sich auf

einem verkieselten Anhydrit/Pyrit Substrat (Halbach and Party, 1998). Diese Zusammensetzung der mineralogischen Proben in der Nähe der White Lady stimmt- ausgenommen Pyrit- sehr gut mit den Präzipitaten der geochemischen Modellierung überein.

Tabelle 32: Die Minerale, welche nach der Berechnung verschiedener Verhältnisse zwischen 1/0.1 und 1/0.85 der Mischung von W.L.E.F. und Meerwasser (Verhältnis ist in der Kopfzeile angegeben) gesättigt sind. Die Präzipitation von Quarz und den Polymorphen des Silikates wurde in den Berechnungen dieses Modells unterdrückt.

Temperatur [in °C]	Verhältnis des W.L.E.F. / Meerwasser [in kg]		
	1/0 – 1/0.60	1/0.60 – 1/0.85	Konzentration
285	Anhydrit		2,07-4,43 mmol
284	Talk		209,5-224 umol
	Mg-Saponit		6,29-7,27 umol
266	Mg-Nontronit		3,51-4,06 umol
173		Barit	0-0,38 umol

Die Haupt- und Nebenelemente des Modellergebnisses (Cl, Na, CO₂(aq), SiO₂, K, Mg), ausgenommen H₂S(aq), Ca und SO₄, weichen von der Zusammensetzung des Fluids 3 jeweils nicht mehr als 7 % ab und zeigen daher eine gute Übereinstimmung mit diesem Fluid. Der H₂S(aq)-Gehalt des gemischten Modellfluids ist deutlich geringer als derjenige des Fluids 3 (Modellfluid H₂S=1e-76 molal, Fluid 3 H₂S= 3,32 mmolal) (siehe oben, H₂S(aq)) und zeigt eine größere Differenz zwischen dem Fluid 3 und dem Modellergebnis (100 %) als nach der konservativen Mischung erwartet. Dies liegt vor allem an dem in situ-pH-Wert des W.L.E.F. von 6,1 bei einer Temperatur von 285 °C (siehe oben, Berechnung des in situ pH-Wertes), unter diesem Säuregrad der Lösung bildet S dominierend wässrige SO₄-Komplexe und äußerst untergeordnet wässrige Sulfidkomplexe. Dies erklärt auch die Diskrepanz, daß im Gegensatz zu der beobachteten Mineralgemeinschaft kein Pyrit in dem Modell präzipitiert. Ca und SO₄ weisen auch eine größere Abweichung (56 und 17.5 %) von dem Fluid 3 als nach den Ergebnissen der konservativen Mischung erwartet auf, vor allem wegen der Präzipitation des Anhydrits während der Beimischung und Abkühlung durch Meerwasser (s. oben). Der Sr-Wert des Modellergebnisses weicht nicht von dieser Komponente in dem Fluid 3 ab, dies spricht für die Richtigkeit des erhöhten Sr-Wertes von 78 umolal des W.L.E.F.. Die Spurenelemente zeigen, ausgenommen Fe und Rb, entsprechend der Abweichung der Mischungsgrade der einzelnen Elemente von dem angenommenen Mischungsgrad von 1/0.6 im Vergleich mit dem geprobten Fluid 3 eine Differenz von ≤ 15 % auf. Fe wird durch die

Präzipitation von Mg-Nontronit ($\text{Mg}_{1.65}\text{Fe}_2\text{Al}_{3.33}\text{Si}_{3.67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) während der Mischung sehr stark in dem Fluid verringert und weist daher im Vergleich mit dem beprobten Fluid 3 (3.7 umolal) eine deutlich geringere Konzentration in dem Modellergebnis ($2,7\text{e-}10$ molal) auf als

Tabelle 33: White Lady Fluidzusammensetzung und Modellergebnis nach der Mischung in einem Verhältnis von 1/0.6 kg W.L.E.F. zu Meerwasser

	White Lady	Fluid 3^a	Modellergebnis^c
	Endmember^a		
T (°C)	285,00		178,4
pH (25°C)	4,70	4,98	5,2
pH (bei in situ Temperatur)	6.12		4,45 (4,36) ^d
Cl (mmolal)	255,00	357,00	335,97
Na	210,00	303,00	302,62
CO₂(aq)	14,40	9,65	9,80
SiO₂(aq)	14,00	8,45	7,86
K	10,50	10,20	10,39
Ca	6,50	7,61	4,35
Mg	0,00	18,50	18,73
H₂S(aq)	0,00	3,32	0,00 (3.27) ^d
SO₄	2,00	10,00	8,25 (8.30) ^d
Br-(umolal)	306,00	547,00	503,25
Li	200,00	150,00	134,00
B	465,00	462,00	452,63
Ba	5,90	3,32	3,69
Sr	30,00 (78,14) ^b	49,00	49,00
Rb	8,80	7,8	5,50
Fe	13,00	3,70	0,00
Mn	12,00	6,56	7,50

^a Nach Ishibashi (Ishibashi et al., 1994)

^b korrigierter Wert des Sr

^c Angenommene Mischung von W.L.E.F. und Meerwasser in einem Verhältnis von 1/0.6 kg

^d Auflösung von 3.32 mmolal H₂S(aq) nach der Mischung in dem Modellfluid (siehe Text).

nach den Ergebnissen der konservativen Mischung erwartet wurde. Rb weicht um 29 % entsprechend der Differenz des berechneten konservativen Mischungsgrades zu dem Angenommenen (1/0.6) von dem Fluid 3 ab. Die Abweichung des Mangans zwischen dem Modellergebnis und dem beprobten Fluid 3 beträgt 14 % und stimmt mit dem Ergebnis der konservativen Mischung überein, weil sich Mn während der Mischung in dem angenommenen Verhältnis von 1/0.6 konservativ verhält und keine Präzipitate bildet.

Da das Fluid 3 gegenüber dem Modellergebnis an H₂S angereichert ist (s. Tab.33), wurden dem Modellfluid 3.32 mmol pro Kilogramm H₂S(aq) nach der Mischung hinzugefügt, entsprechend einer Anreicherung durch Gesteins–Fluid–Wechselwirkung (siehe H₂S(aq)), was zu einem übereinstimmenden Wert dieser Komponente des Fluids 3 und dem Modellfluid führt.

Diese Berechnungen vereinfachen offensichtlich die verschiedenen Einflüsse, Beimischung von Meerwasser, Präzipitation und Lösung von Mineralphasen und Wechselwirkung des Fluids mit dem umgebenden Gestein, auf das W.L.E.F. auf dem Weg von unterhalb des Meeresbodens bis zum White Lady Austritt. Sie beweisen dennoch die These, daß die Beimischung von Meerwasser und die Präzipitation von Anhydrit, Talk, Mg-Saponit und Mg-Nontronit in dem Bereich des White Lady-Schornsteins, die Unterschiede der Zusammensetzung des White Lady Endmember Fluids und des geprobten White Lady Fluids 3 erklären können. Sie verdeutlichen auch, daß konduktive Abkühlung allein nicht die Zusammensetzung, vor allem die Konzentration von Cl und Na, des White Lady Fluids 3 herstellen kann und daher Meerwasser beigemischt worden sein muß.

5.4. Zusammenfassung

Es wurden die Wechselwirkungen zwischen der chemischen Zusammensetzung verschiedener hydrothormaler dampfphasenangereicherter Fluide, dem Meerwasser, der Brine und der Mineralgemeinschaft des aktiven White Lady Austritts in dem North Fiji Becken (Grimaud et al., 1991; Ishibashi et al., 1994) untersucht. Der Grad der konservativen Mischung zwischen dem White Lady Endmember Fluid (W.L.E.F.) (Grimaud et al., 1991) und Meerwasser wurde soweit möglich berechnet. Drei Fluide, die Ishibashi et al. (1994) geprobt haben, wurden mit diesem Berechnungsergebnis verglichen und der Einfluß der Beimischung von Meerwasser und/oder Brine und Gesteins-Fluid-Wechselwirkung wurde geprüft. Diese Prüfung wurde durch die thermodynamische Berechnung der Löslichkeit ausgewählter Komponenten (Ca,

SO₄, Mg, Br, Li, Sr und B) in Meerwasser und W.L.E.F. unterstützt. Diese Ergebnisse, submarine Feldbeobachtungen, experimentelle und theoretische Ergebnisse unterstützten die Untersuchung dieser Einflüsse.

Zusätzlich zu den oben erwähnten Einflüssen auf diese Fluide kann die Meßgenauigkeit der analytischen Methode eine alternative Erklärung für die starke Anreicherung oder Verarmung der analysierten Komponenten der White Lady Fluide (Ishibashi et al., 1994) die nicht aus der Mischung zwischen Meerwasser und W.L.E.F. resultieren, sein. Ausgenommen sind hierbei H₂S, Sr und Li. Cl, Na, Ca, Br und Sr des Fluids 1 sind nicht durch die ausschließliche Beimischung von Meerwasser erklärbar. Beimischung einer Brine und / oder die Gesteins-Fluid-Wechselwirkung kann für diese Konzentrationen verantwortlich sein. Die Beimischung von Meerwasser erklärt die SiO₂ Konzentration der drei Fluide (Ishibashi et al., 1994). K und CO₂ des Fluids 2 und Mg und SO₄ des Fluids 1 kann nicht durch die Beimischung von Meerwasser alleine erklärt werden, aber durch zusätzliche Gesteins-Fluid-Wechselwirkung. Ca des W.L.E.F. wurde durch die Präzipitation von Anhydrit verringert. Diese These wird durch die Ergebnisse der thermodynamischen Berechnung (diese Arbeit), die Präzipitate, die von Halbach et al. (1998) im Bereich des White Lady Austrittes gesammelt wurden, und die drei Fluide des White Lady Austritts (Ishibashi et al., 1994) bestätigt. Der Vergleich des H₂S des W.L.E.F. und des Fluids 3 zeigt an, daß das W.L.E.F. initial einen höheren Gehalt des S besaß, der durch die Präzipitation von Anhydrit und Barit verringert wurde. Der Vergleich der drei Fluide schlägt vor, daß Li in dem Fluid 1 und 2 durch Gesteins-Wasser-Wechselwirkung verringert wurde. Sr war in dem ursprünglichen W.L.E.F. wahrscheinlich höher konzentriert. Die drei Fluide zeigen Konzentrationen dieser Komponente, die nicht durch ausschließliche Beimischung von Meerwasser erklärbar ist. Die Gesteins-Fluid-Wechselwirkung kann für diese Verarmung verantwortlich sein. B des Fluids 2 kann durch Gesteins-Fluid-Wechselwirkung verringert worden sein. Die Beimischung von Meerwasser gibt die Erklärung für Ba in diesen drei Fluiden. Die Ergebnisse der thermodynamischen Berechnung der Beimischung von Meerwasser zu dem W.L.E.F. und die Präzipitate, die von Halbach et al. (1998) analysiert wurden, zeigen, daß Ba während der Beimischung von Meerwasser durch die Ausfällung von Barit verringert wurde. Rb dieser drei Fluide ist erklärbar durch die Beimischung von Meerwasser. Die Beimischung von Meerwasser bestimmt Mn und Fe in diesen Fluiden. Bei geringer Beimischung von Meerwasser präzipitiert Fe durch die Abkühlung in Form von Mg-Nontronit in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der thermodynamischen Berechnung der W.L.E.F.-Meerwasser Mischung. Übereinstimmend mit diesen Ergebnissen der geochemischen Modellierung wird Mn in der Lösung durch die

Präzipitation von Pyrolusit bei einem Verhältnis von 1/20 (W.L.E.F./Meerwasser) verringert. Für das Fluid 3 wurde der Grad der Beimischung von Meerwasser zu dem W.L.E.F. nach ausgewählten Komponenten der konservativen Mischung abgeleitet. Die Ergebnisse der thermodynamischen Berechnung der Beimischung nach diesem Grad, die Zusammensetzung des Fluids 3 und die Präzipitate, die von Halbach et al. (1998) untersucht wurden, belegen die These, daß die Zusammensetzung des Fluids 3 und die genannten Präzipitate in dem Bereich der White Lady aus der Beimischung von Meerwasser zu dem W.L.E.F. resultieren.