
Kapitel 5

Der Metamagnet $\text{Fe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Br}_2$

In dem folgenden Kapitel 6 wird auf das schwach verdünnte System $\text{Fe}_{0,95}\text{Mg}_{0,05}\text{Br}_2$ eingegangen werden. Wie in der Einleitung bereits erwähnt wurde, stellt dieses System eine Art Variation der reinen Substanz dar. Man stellt sich dabei die Frage, wie sich diese Variation auf die charakteristischen Eigenschaften von FeBr_2 auswirken. Es wäre wünschenswert direkt die Kopplungsparameter beeinflussen zu können, was jedoch zur Zeit nicht möglich ist. Es besteht jedoch die Möglichkeit das Gitter so zu verzerren, daß interne Parameter sich ändern. Zum Beispiel kann Druck entlang der c-Achse angelegt werden [1, 69] und es zeigt sich, daß mit dem Druck offensichtlich die antiferromagnetische Kopplung, $J\zeta$ und gleichzeitig das Verhältnis $|r| = zJ / |z\zeta|$ anwachsen. Mit anderen Worten, durch Druckerhöhung verändert man das Phasendiagramm von FeBr_2 tendenziell in Richtung eines FeCl_2 -Typs (vgl. Kap. 2.2).

Die zweite Möglichkeit besteht darin, FeBr_2 mit anderen Substanzen geeignet zu mischen. Entweder geschieht dies mit einem weiteren Metamagneten, wie z.B. FeCl_2 , mit einem XY-System, wie z.B. CoBr_2 , oder mit einer diamagnetischen Substanz, wie z.B. MgBr_2 . Prinzipiell besteht die Möglichkeit FeBr_2 mit FeCl_2 zu mischen [22]. Dieses System ist jedoch unseres Wissens in seinen magnetischen Eigenschaften völlig unbekannt. K. Katsumata hat andererseits FeBr_2 mit dem Spin-Flop-System CoBr_2 unter verschiedenen Konzentrationen erfolgreich gemischt [70]. Dies führt allerdings zu komplexen Fragestellungen, die hier nicht verfolgt werden können.

Somit ist es vernünftiger die Variante des Verdünnens zu nehmen, da auf diesem Feld schon einiges Vorwissen besteht. Im diesem Fall werden magnetische Fehlstellen, zufällig verteilt, in das Spin-Gitter eingefügt. Diese Thematik wird in den beiden folgenden Unterkapiteln behandelt werden.

5.1 Physik der verdünnten Antiferromagnete

Wenn in einem Ising-System zufällig verteilte Fehlstellen eingefügt werden, so geht das Modell im Hinblick auf das kritische Verhalten in eine andere Universalitätsklasse über. Im Nullfeld geht es von der des Ising-Modells in die des Zufalls-Austausch-Ising-Modells (REIM, random exchange Ising model) über. Unter Anlegen eines homogenen Magnetfeldes hat dieses dann einen Crossover in die Klasse des Zufallsfeld-Ising-Modells (RFIM, random field Ising model).

Das Zufallsfeld-Ising-Modell [71] beschreibt zunächst den Fall eines Ferromagneten, welcher zusätzlich zu den gewohnten Termen im Ising-Hamilton-Operator (Gl. 4.1) noch einen Term besitzt, der jedem Spin, S_i , ein zufälliges Feld, h_i , zuordnet,

$$H = -J \sum_{\langle i,j \rangle} S_i S_j - g \mathbf{m}_B \mathbf{m}_0 \sum_i (H + h_i) S_i . \quad (5.1)$$

Dabei ist $J > 0$ und h_i folgt einer beliebigen symmetrischen Verteilung mit $\langle h_i \rangle = 0$ und $\langle h_i^2 \rangle \equiv h^2 \neq 0$. Im Fall von $H = 0$ existiert ein langreichweitig geordneter Grundzustand für Dimensionen $d > d_l = 2$ [72].

Ein solches Modell konnte bisher nicht in der Natur gefunden werden. Es kann jedoch gezeigt werden, daß ein verdünnter Ising-Antiferromagnet in einem homogenen Feld (DAFF, diluted antiferromagnet in a field) in der gleichen Universalitätsklasse wie das RFIM-Modell ist [73, 74]. Der Hamilton-Operator kann dann geschrieben werden als:

$$H = - \sum_{\langle i,j \rangle} J_{ij} \mathbf{d}_i \mathbf{d}_j S_i S_j - g \mathbf{m}_B \mathbf{m}_0 H \sum_i \mathbf{d}_i S_i , \quad (5.2)$$

wobei $\mathbf{d}_i = 0$ oder 1 entsprechend der Verteilung der Fehlstellen. Offenbar wird das Zufallsfeld des RFIM-Modells, h , durch ein homogenes Magnetfeld, H , in Verbindung mit der räumlichen Unordnung ersetzt. Es gilt nämlich:

$$h^2 = \frac{x(1-x)(T_{\text{MF}}/T)^2 (g \mathbf{m}_B S H / k_B T)^2}{(1 + \Theta_{\text{MF}}(x)/T)^2} , \quad (5.3)$$

wobei x die Konzentration der Fehlstellen, T_{MF} die Mean-Field-Übergangstemperatur des reinen Systems und Θ_{MF} der Curie-Weiss'sche Suszeptibilitätsparameter ist.

Diese Thematik wurde in den vergangenen zwei Jahrzehnten intensiv sowohl theoretisch als auch experimentell untersucht [75 – 77]. So wurden zahlreiche Experimente an z.B. $\text{Fe}_{1-x}\text{Zn}_x\text{F}_2$ und $\text{Fe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Cl}_2$ unternommen, die als gute Vertreter der DAFF-Gruppe gelten

[78 – 82]. Neben dem kritischen Verhalten lag das Interesse sehr stark auch auf dem Relaxationsverhalten der antiferromagnetischen Domänen, die an den Fehlstellen „gepinnt“ werden [83 – 85].

Innerhalb dieses Forschungsfeldes ist $\text{Fe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Br}_2$ eher weniger bekannt. Dies hängt insbesondere damit zusammen, daß schon die reine Substanz FeBr_2 viele ungeklärte Fragen aufwirft. Ein Aufklären dieser Fragen würde einige neue Impulse für Untersuchungen an $\text{Fe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Br}_2$ als DAFF-System mit sich bringen.

5.2 Das verdünnte System $\text{Fe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Br}_2$

Die Substanz $\text{Fe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Br}_2$ wird durch Mischen von FeBr_2 mit MgBr_2 hergestellt. Dabei ist es unbedingt nötig, daß beide Substanzen bereits getrocknet und durch Sublimation gereinigt wurden. Diese werden im gewünschten Verhältnis miteinander gemischt und dann durch das Bridgman-Zuchtverfahren zu einem Einkristall gezogen. Im Idealfall besitzt nun dieser Kristall eine homogene, zufällige Verteilung von Mg^{2+} -Ionen, die die Fe^{2+} -Ionen substituieren.

Sowohl FeBr_2 , als auch MgBr_2 haben die gleiche Kristallstruktur mit der Raumgruppe D_{3d}^3 ($P\bar{3}m1$) [86] und sehr ähnliche Gitterparameter (FeBr_2 : $a = 0,374$ nm, $c = 0,617$ nm; MgBr_2 : $a = 0,381$ nm, $c = 0,626$ nm). Der Mischkristall $\text{Fe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Br}_2$ besitzt wieder die gleiche Kristallstruktur wie das FeBr_2 .

Als Vorarbeiten sind hier folgende vier zu nennen. Unseres Wissens nach hat zuerst M. Yahiaoui [87] in seiner Doktorarbeit die Substanz $\text{Fe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Br}_2$ mit verschiedenen Konzentrationen, x , untersucht und konnte mittels DC-Suszeptometrie das x - T -Phasendiagramm ermitteln. Abb. 5.1 zeigt den Verlauf der Übergangstemperatur, T_c , je nach Konzentration, x , der Mg^{2+} -Ionen. Erwartungsgemäß sinkt $T_c(x)$ mit zunehmender Verdünnung bis $x \approx 0,35$ erreicht ist. Oberhalb dieses Wertes ist gemäß M. Yahiaoui keine antiferromagnetische Phase (AF) mehr zu finden. Der Übergang findet dann nur noch zwischen der paramagnetischen (PM) und der Spin-Glas-Phase (französisch: VS) statt. Bemerkenswert ist, daß selbst für niedrige Verdünnungen ein Übergang PM – AF – VS zu finden sein soll („reentrant spin glass“). Im Gegensatz zu $\text{Fe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Cl}_2$ neigt $\text{Fe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Br}_2$ offenbar durch die starke Frustration der intraplanaren Wechselwirkungen (Kap. 2.3) bereits bei sehr geringer Verdünnung zum Spin-Glas-Verhalten.

Die zweite Arbeit stammt von J. Vetel, dessen Interesse primär den dynamischen Eigenschaften der Substanzen $\text{Fe}_{0,35}\text{Mg}_{0,65}\text{Br}_2$ und $\text{Fe}_{0,8}\text{Mg}_{0,2}\text{Cl}_2$ galt [86]. Die dritte Arbeit ist eine Promotionsarbeit von S. Pouget [37], die unterschiedliche frustrierte magnetische Systeme, unter anderem auch $\text{Fe}_{0,9}\text{Mg}_{0,1}\text{Br}_2$, mittels elastischer und inelastischer Neutronenstreuung untersucht hat. Die vierte und bis heute letzte Veröffentlichung stammt von M. Karszewski et al., der das kritische Verhalten von $\text{Fe}_{0,85}\text{Mg}_{0,15}\text{Br}_2$ studierte [88]. Über Messungen der Faraday-Rotation konnte er das magnetische Phasendiagramm dieser Substanz konstruieren.

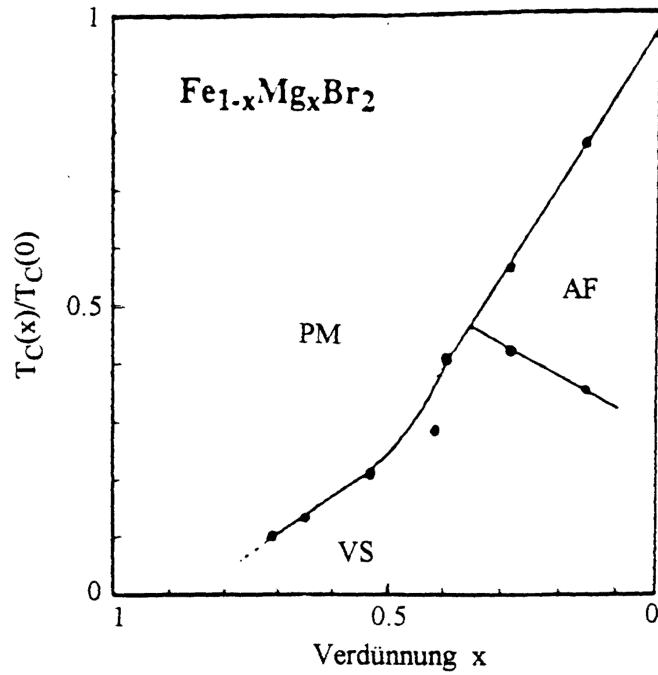


Abb. 5.1 x - T -Phasendiagramm für $\text{Fe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Br}_2$ [87]. $T_c(0)$ ist die Néel-Temperatur des unverdünnten FeBr_2 , $T_N = 14,2$ K und „VS“ ist die französische Abkürzung für Spin-Glas-Phase („verre de Spin“).

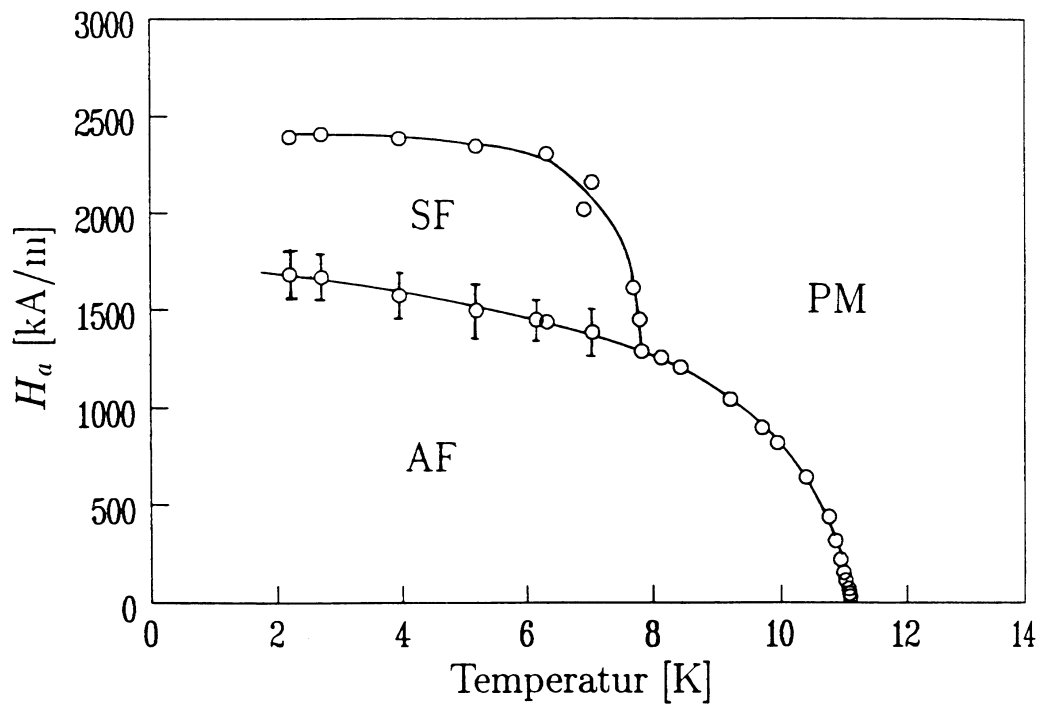


Abb. 5.2 Magnetisches Phasendiagramm von $\text{Fe}_{0.85}\text{Mg}_{0.15}\text{Br}_2$ [88]. H_a bezeichnet das angelegte Magnetfeld und SF kennzeichnet die vermutete Spin-Flop-Phase.

Abbildung 5.2 stellt das H - T -Phasendiagramm von $\text{Fe}_{0,85}\text{Mg}_{0,15}\text{Br}_2$ dar. Es ist keine Ähnlichkeit zu dem der reinen Substanz FeBr_2 (Abb. 2.10) festzustellen. Zu dem erscheint eine vermutete Spin-Flop-Phase (SF), die bisher keine Entsprechung zum FeBr_2 besitzt.