

Wasserstoffaufnahme und magnetisches Verhalten der intermetallischen Phasen $Ti_2(Ni,Co)$ und $Ti_2(Ni,Fe)$

Engelbert Tuscher *

Institut für physikalische Chemie, Universität Wien,
A-1090 Wien, Österreich

(Eingegangen 27. Juni 1979. Angenommen 23. Juli 1979)

*Hydrogen Absorption and Magnetic Properties of the Intermetallic Compounds
 $Ti_2(Ni,Co)$ and $Ti_2(Ni,Fe)$*

Hydrogen absorption by the intermetallic compounds $Ti_2(Ni,Co)$ and $Ti_2(Ni,Fe)$ with Ti_2Ni -structure (O_h^1-Fd3m) is accompanied by an increase of the volume of the unit cell without any structural change, while the maximum value of absorbed hydrogen is practically independent of the alloy composition. By taking up hydrogen, the intermetallic compounds, showing *Pauli* spin paramagnetism with complex temperature dependence, become either temperature independent paramagnetic [hydrides of $Ti_2(Ni,Co)$] or strongly temperature dependent paramagnetic, following a modified *Curie-Weiss-Law* [hydrides of $Ti_2(Ni,Fe)$], respectively.

(*Keywords: Hydrogen absorption; Intermetallic phases; Magnetic properties*)

Einleitung

In erst jüngst veröffentlichten Arbeiten von *Hiebl et al.*^{1,2} wurde gezeigt, daß der Einbau von Wasserstoff in intermetallische Phasen des Ti_2Ni -Strukturtyps mit beträchtlichen und signifikanten Änderungen des magnetischen Verhaltens verbunden ist. Die strukturellen und magnetischen Ergebnisse der Ausweitung dieser Untersuchungen auf die Systeme $Ti_2(Ni,Co)$ und $Ti_2(Ni,Fe)$ sind Inhalt der vorliegenden Arbeit, über Dampfdruck- und NMR-Messungen an den Hydriden dieser intermetallischen Phasen wird anderweitig berichtet werden³.

Für die Struktur der in^{1,2} wie auch der in der Folge beschriebenen Phasen ist kennzeichnend die große, kfz. Einheitszelle, aufgebaut aus 96 Metallatomen⁴, welche sowohl Oktaederlücken wie auch Tetraederlücken — geeignet zur Einlagerung kleiner Atome wie Sauerstoff oder

* Herrn Prof. Dr. *H. Bittner* zum 60. Geburtstag gewidmet.

Wasserstoff — aufweist. So wurde auch bereits mehrfach in der Literatur über die Wasserstoffabsorption der beiden binären Phasen Ti_2Co und Ti_2Ni berichtet⁵⁻¹¹, jedoch liegen vor allem in bezug auf Ti_2Co unterschiedliche Angaben über die jeweils absorbierte Wasserstoffmenge vor⁵⁻⁸. Eine Messung der magnetischen Suszeptibilität des Hydrids von Ti_2Ni mit 2,2 w% H erfolgte durch *Buchner et al.*⁸, wobei ein Suszeptibilitätswert von $1,9 \cdot 10^{-5}$ emu/g bei Raumtemperatur gefunden wurde.

Experimentelles

Entsprechende Mengen der pulverförmigen Ausgangssubstanzen (Ti: Powder, m3N 100 mesh, Alfa Products Ventron, Karlsruhe BRD; Fe: Carbo-nylisenpulver, 99,5%, Fluka AG, Buchs SG, Schweiz; Co: Powder 99,5%, Koch Light Labs., England; Ni: Powder 99,5%, Koch Light Labs., England) wurden vermisch, kalt gepreßt und im Lichtbogenofen (mit Ti-Schwamm gegetertetes Argon als Schutzgas) unter Verwendung einer wassergekühlten Kupfermatrix und eines Wolframstabes als Gegenelektrode zweimal niedergeschmolzen. Dabei ergab sich kein nennenswerter Gewichtsverlust der Proben. Die Metallreguli wurden anschließend in Mo-Folien verpackt und im Hochvakuumofen (bei weniger als 10^{-4} Pa) 72 h bei 950 °C getempert. Röntgenaufnahmen nach der Pulvermethode (Cu-K α -Strahlung) wurden zur Charakterisierung der so erhaltenen Proben verwendet.

Die Hydrierung erfolgte in einem Autoklaven (Volumen etwa 400 cm³) mit hochreinem Wasserstoff unter einem Druck von 36 atm (3,6 MPa) und Temperaturen zwischen 130 °C und 250 °C. Die in Stücken (0,5 bis 2,0 g) eingebrachten Proben zerfielen im Verlauf der Absorptionsreaktion in ein sehr feines Hydridpulver. Die Homogenität der Hydride wurde röntgenographisch (Cu-K α -Strahlung) festgestellt, die Bestimmung ihres Wasserstoffgehaltes erfolgte im Mikroanalytischen Labor des Instituts*.

Die Suszeptibilitätsmessungen der unhydrierten Substanzen erfolgten im Temperaturbereich von 80 K bis 500 K, unter einem Druck von 4000 Pa, die Suszeptibilität der Hydride wurde zwischen 80 K und 320 K [Hydride des $Ti_2(Ni,Fe)$ -Systems] bzw. 340 K [Hydride des $Ti_2(Ni,Co)$ -Systems] und unter einem Druck von $9 \cdot 10^4$ Pa bestimmt¹². Gemessen wurde bei vier verschiedenen Feldstärken: 7 395 Oe, 9 630 Oe, 11 250 Oe und 12 300 Oe. Zwecks Elimination geringfügiger ferromagnetischer Verunreinigungen wurde eine Extrapolation der jeweiligen Meßwerte auf unendliche Feldstärke (Methode nach *Honda* und *Owen*¹³) durchgeführt. Die so erhaltene Grammsuszeptibilität χ_g wurde mit der Molmasse der entsprechenden Einheitszelle multipliziert, das Produkt als χ_{EZ} angeführt. Eine Aufspaltung von χ_{EZ} in einen temperaturunabhängigen Suszeptibilitätsanteil A_{EZ} und einen temperaturabhängigen *Curie-Weiss*-Term $B(T)$ erwies sich für Ti_2Ni und für die Hydride des $Ti_2(Ni,Fe)$ -Systems als notwendig und erfolgte gemäß Formel (1).

$$\chi_{EZ} = A_{EZ} + B(T) = A_{EZ} + C_{EZ}/(T - \Theta) \quad (1)$$

C_{EZ} bedeutet in ihr die *Curie*konstante (wiederum auf die Einheitszelle bezogen) und Θ die paramagnetische *Curie*temperatur.

* Für die Durchführung dieser Analysen danke ich Herrn Dr. J. Zak sehr herzlich.

Ergebnisse

Wie die röntgenographischen Untersuchungen ergaben, sind die beiden Verbindungen Ti_2Ni und Ti_2Co lückenlos mischbar, jedoch können maximal 82% des Nickels in Ti_2Ni durch Eisen ersetzt werden, ohne daß der Einphasenbereich verlassen wird. Beim Austausch von

Tabelle 1. Charakteristika für $Ti_{64}Ni_{32-x}Co_x$ und $Ti_{64}Ni_{32-x}Co_xH_y$ (a : Gitterparameter für $Ti_{64}Ni_{32-x}Co_x$; a_H : Gitterparameter für $Ti_{64}Ni_{32-x}Co_xH_y$; ΔV : Volumenänderung der Einheitszelle infolge der Wasserstoffabsorption; $\Delta V/y$: Volumenänderung pro absorbiertem H-Atom)

x	a (Å)	y	a_H (Å)	ΔV (Å ³)	$\Delta V/y$ (Å ³ /H)
32	11,295	89,2	11,889	240	2,7
24	11,300	87,1	11,885	236	2,7
16	11,310	87,6	11,892	235	2,7
8	11,320	88,1	11,892	231	2,6
0	11,324	99,4	11,953	256	2,6

Tabelle 2. Charakteristika für $Ti_{64}Ni_{32-x}Fe_x$ und $Ti_{64}Ni_{32-x}Fe_xH_y$. (Die Bezeichnungen sind jenen der Tab. 2 analog)

x	a (Å)	y	a_H (Å)	ΔV (Å ³)	$\Delta V/y$ (Å ³ /H)
0	11,324	99,4	11,953	256	2,6
14	11,339	97,5	11,990	266	2,7
16	11,338	100,0	11,989	266	2,7
18	11,340	99,9	11,998	269	2,7
20	11,345	100,8	12,015	274	2,7
22	11,344	100,6	12,006	271	2,7
24	11,348	100,5	12,018	274	2,7
26	11,350	100,4	12,012	271	2,7

Nickel gegen Cobalt nimmt der Gitterparameter a mit steigendem Cobalt-Gehalt kontinuierlich ab (Tab. 1), beim Austausch von Nickel gegen Eisen hingegen kontinuierlich zu (Tab. 2). Die Einlagerung von Wasserstoff erfolgte unter Beibehaltung der Ti_2Ni -Struktur, allerdings ist sie von einer beträchtlichen Aufweitung des Metallgitters begleitet, wie aus den Tab. 1 und 2 ersichtlich wird. Hinsichtlich der Menge an absorbiertem Wasserstoff wurde für Ti_2Co [siehe auch (2)] gute Übereinstimmung der eigenen Werte mit jenen von *Buchner* et al.⁸ gefunden, für das Hydrid von Ti_2Ni mit jenen von *Reilly* und *Wiswall*⁶, *Buchner*

et al.⁸ bzw. von *Mintz* et al.¹¹. Wie aus den entsprechenden Daten in den Tab. 1 und 2 ersichtlich, ergab sich für die Hydride der ternären Metallphasen eine nur geringe Abhängigkeit der Anzahl der Wasserstoffatome pro Einheitszelle von der Zusammensetzung der zugrunde liegenden intermetallischen Phasen, im Einklang mit den diesbezüglichen Beobachtungen im $\text{Ti}_2(\text{Co,Fe})$ -System². Allerdings zeigte sich eine deutliche Abhängigkeit der Starttemperatur der Hydrierreaktion von der Cobalt- und insbesondere von der Eisenkonzentration: Während etwa $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_6\text{Fe}_{26}$ bereits bei einer Temperatur von 130°C Wasserstoff absorbierte, mußte $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32}$ (= Ti_2Ni) auf 250°C erwärmt werden, um die Absorptionsreaktion in Gang zu bringen.

Magnetische Messungen

a) Das System $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32-x}\text{Co}_x$ und seine Hydride $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32-x}\text{Co}_x\text{H}_y$

Die Temperaturabhängigkeit der Suszeptibilität von Proben der Zusammensetzung $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32-x}\text{Co}_x$ zeigt Abb. 1. Der Temperaturverlauf der Suszeptibilität von Ti_2Ni mit dem negativen Temperaturkoeffizienten der Suszeptibilität ermöglichte gemäß Formel (1) die Berechnung der magnetischen Kenngrößen A_{EZ} , C_{EZ} und Θ , für die folgenden Werte gefunden wurden:

$$\begin{aligned} A_{\text{EZ}} &= 1,88 \cdot 10^{-2} \text{ emu/mol EZ} \\ \Theta &= 20 \text{ K} \\ C_{\text{EZ}} &= 0,234 \text{ emu} \cdot \text{K/mol EZ} \end{aligned}$$

Aus der Curiekonstante C_{EZ} ergibt sich somit ein effektives magnetisches Moment von $0,24 \mu_B$ pro Nickelatom.

Der Einbau von Wasserstoff in die intermetallischen Phasen des $\text{Ti}_2(\text{Ni,Co})$ -Systems verursacht ein vollständiges Verschwinden der Temperaturabhängigkeit der Suszeptibilität. In Abb. 2 sind für die Hydride $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32-x}\text{Co}_x\text{H}_y$ diese temperaturunabhängigen Suszeptibilitätswerte als Funktion der Cobaltkonzentration x dargestellt. Der dabei beobachtbare lineare Zusammenhang von Cobaltgehalt x und Suszeptibilität dürfte bedeuten, daß für den Magnetismus der Hydride von $\text{Ti}_2(\text{Ni,Co})$ nicht die jeweilige Wasserstoffkonzentration, sondern vielmehr die Zusammensetzung der dem Hydrid zugrunde liegenden Metallphase bestimmend ist. Die Suszeptibilität der Hydride der ternären Metallphase läßt sich verstehen als Summe der Suszeptibilitätswerte von $\text{Ti}_{64}\text{Co}_{32}\text{H}_{89}$ bzw. $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32}\text{H}_{99}$, entsprechend Formel (2):

$$\begin{aligned} \chi_{\text{EZ}}^{\text{Hydrid}}(x) &= c \cdot \chi_{\text{EZ}}(\text{Ti}_{64}\text{Co}_{32}\text{H}_{89}) + (1 - c) \cdot \chi_{\text{EZ}}(\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32}\text{H}_{99}) \\ &\text{mit } c = x/32. \end{aligned} \quad (2)$$

Die nach dieser Formel berechneten Suszeptibilitätswerte sind zum Vergleich ebenfalls in Abb. 2 eingetragen.

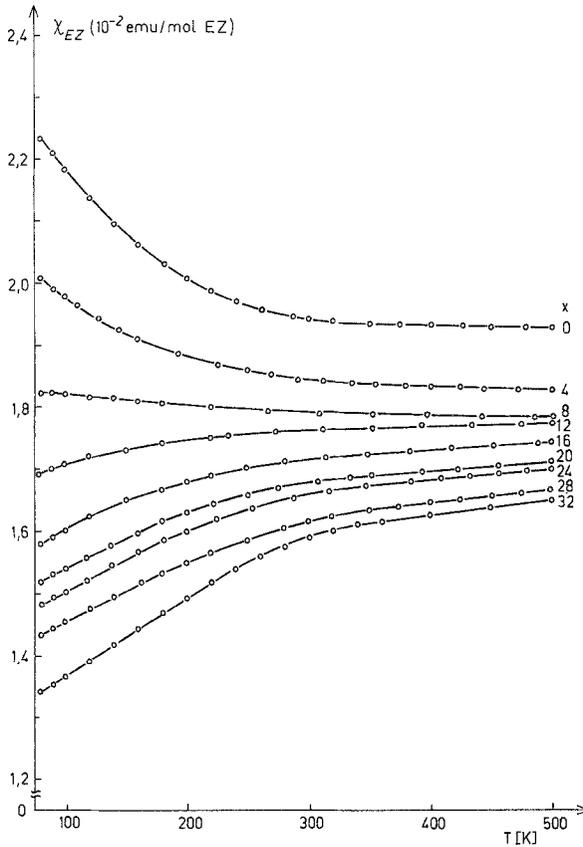


Abb. 1. Die Suszeptibilität der intermetallischen Phasen $Ti_{64}Ni_{32-x}Co_x$ als Funktion der Temperatur (Cobaltkonzentration x als Parameter; $0 \leq x \leq 32$)

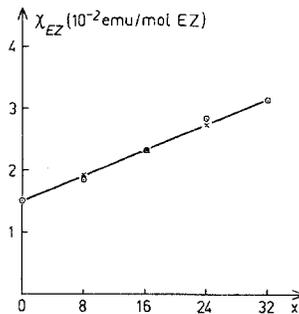


Abb. 2. Die temperaturunabhängige Suszeptibilität der Hydride $Ti_{64}Ni_{32-x}Co_xH_y$ als Funktion der Cobaltkonzentration x [○: experimentelle Werte; ×: nach Formel (2) berechnete Werte]

b) Das System $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32-x}\text{Fe}_x$ und seine Hydride $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32-x}\text{Fe}_x\text{H}_y$

Die Suszeptibilitätskurven für die Phasen $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32-x}\text{Fe}_x$ sind in Abb. 3 für die Ni-reichen Phasen ($0 \leq x \leq 16$) und in Abb. 4 für die eisenreichen Verbindungen ($16 \leq x \leq 26$) wiedergegeben. Der Aus-

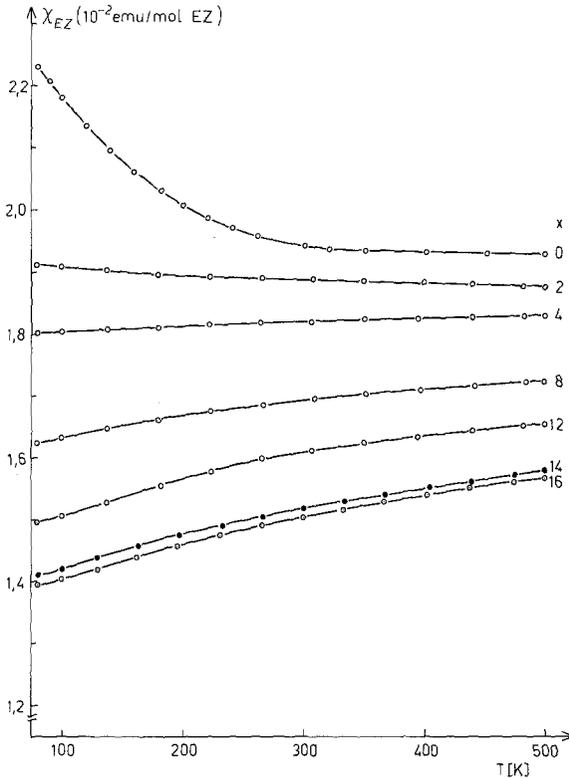


Abb. 3. Die Suszeptibilität der intermetallischen Phasen $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32-x}\text{Fe}_x$ als Funktion der Temperatur (Eisenkonzentration x als Parameter; $0 \leq x \leq 16$)

tausch von Nickel durch Eisen zeigt bei den Ni-reichen Phasen eine analoge Auswirkung auf die Temperaturabhängigkeit und Größe der Suszeptibilität wie jener von Ni durch Co (Abb. 1), bei den Fe-reichen Verbindungen ist allerdings eine leichte Zunahme der Suszeptibilität wie auch die Andeutung eines Vorzeichenwechsels des Temperaturkoeffizienten der Suszeptibilität mit steigender Fe-Konzentration zu beobachten. Auf die gemeinsamen Züge des magnetischen Verhaltens der Systeme $\text{Ti}_2(\text{Ni},\text{Co})$ und $\text{Ti}_2(\text{Ni},\text{Fe})$ wird unten noch näher eingegangen werden.

Abb. 5 zeigt die Suszeptibilitätskurven für die Hydride $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32-x}\text{Fe}_x\text{H}_y$, ein Vergleich mit jenen der unhydrierten Ausgangsphasen (Abb. 4) macht die magnetische Auswirkung der H-Absorption deutlich. Der Reziprokwert der Suszeptibilitäten stellt nur für das Hydrid $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{12}\text{Fe}_{20}\text{H}_{101}$ eine lineare Funktion der Temperatur dar. Der Verlauf der $(\chi_{\text{EZ}}$ gegen T)-Kurven für die eisenärmeren Hydride ($14 \leq x < 20$) deutet auf das Auftreten eines temperaturunabhängigen

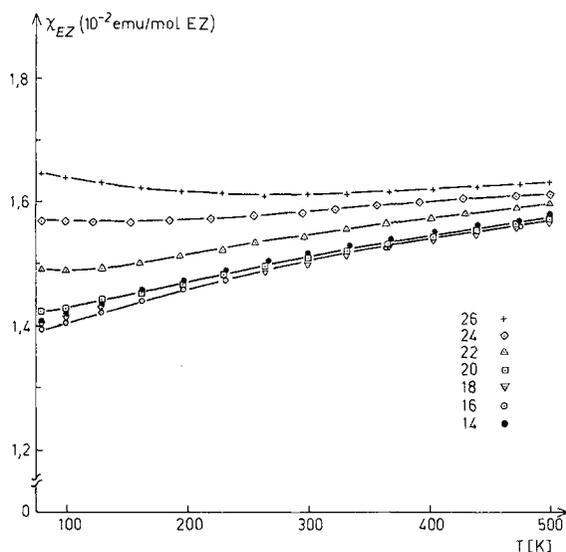


Abb. 4. Die Suszeptibilität der intermetallischen Phasen $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32-x}\text{Fe}_x$ als Funktion der Temperatur (Eisenkonzentration x als Parameter; $14 \leq x \leq 26$)

Suszeptibilitätsanteiles A_{EZ} hin, während er für die eisenreichen Hydride ($22 \leq x \leq 26$) das Auftreten einer ferromagnetischen Ordnung bei Temperaturen unter 80 K nahe legt. Ein ferromagnetisches Verhalten bei tiefsten Temperaturen, und zwar vor allem der eisenreichsten Hydride, wird auch durch die Größe bzw. die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung angedeutet. Die Auswertung der in Abb. 5 dargestellten experimentellen Ergebnisse gemäß Formel (1) erbrachte die in der Tab. 3 zusammengefaßten Werte der magnetischen Kenngrößen A_{EZ} , Θ und C_{EZ} . Eine solche Darstellung mit der Eisenkonzentration x als Variable scheint, ähnlich wie in *Hiebl et al.*², insofern berechtigt zu sein, als die Wasserstoffkonzentration mit etwa 100 H-Atomen/EZ für die hinsichtlich ihres Eisengehaltes verschiedenen Hydride als konstant

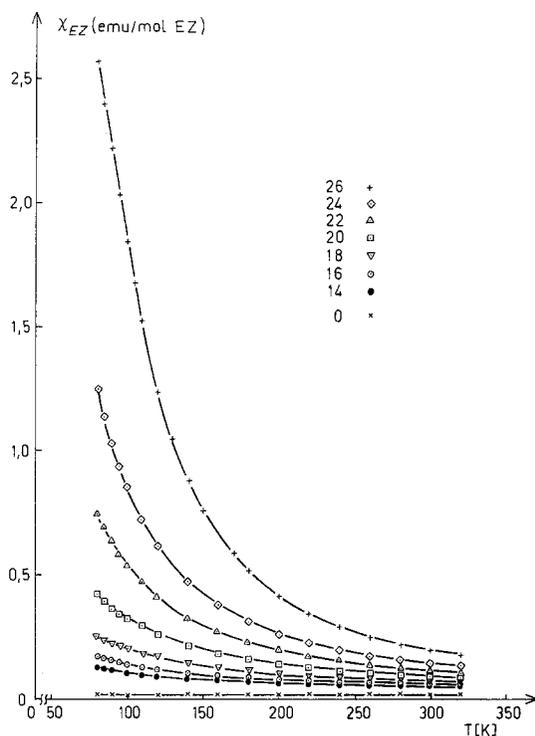


Abb. 5. Die Suszeptibilität der Hydride $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32-x}\text{Fe}_x\text{H}_y$ als Funktion der Temperatur (Eisenkonzentration x als Parameter; $x \leq 26$)

Tabelle 3. *Magnetische Größen der Hydride $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32-x}\text{Fe}_x\text{H}_y$ (A_{EZ} : Temperatur-unabhängiger Suszeptibilitätsanteil; Θ : Paramagnetische Curietemperatur; C_{EZ} : Curiekonstante; μ_{eff} : effektives magnetisches Moment pro Eisenatom)*

x	$A_{EZ} \left(\frac{10^{-2} \text{ emu}}{\text{mol EZ}} \right)$	Θ (K)	$C_{EZ} \left(\frac{\text{emu} \cdot \text{K}}{\text{mol EZ}} \right)$	$\mu_{\text{eff}} (\mu_B)$
0	1,515	—	—	—
14	1,800	— 7	9,47	2,33
16	1,680	0	12,70	2,52
18	1,430	+ 10	16,90	2,74
20	0,430	+ 21	24,80	3,15
22	—	+ 48	31,70	3,40
24	—	+ 70	34,50	3,40
26	—	+ 103	45,60	3,75

angesehen werden kann. Ferner wurde, da das Hydrid von Ti_2Ni nur eine temperaturunabhängige Suszeptibilität aufweist, das in den Hydriden $\text{Ti}_{64}\text{Ni}_{32-x}\text{Fe}_x\text{H}_{y-100}$ ($14 \leq x \leq 26$) beobachtete magnetische Moment einzig den Eisenatomen zugeschrieben, die aus der Curiekonstante C_{EZ} berechneten effektiven magnetischen Momente pro Eisenatom sind ebenfalls in Tab. 3 angeführt. Ein Vergleich mit den diesbezüglichen Ergebnissen im $\text{Ti}_2(\text{Co,Fe})\text{—H}$ -System, wie sie in² veröffentlicht wurden, zeigt das analoge magnetische Verhalten dieser beiden Hydridsysteme.

Diskussion

Wie die Suszeptibilitätskurven für die metallischen Systeme $\text{Ti}_2(\text{Ni,Co})$ und $\text{Ti}_2(\text{Ni,Fe})$ der Abb. 1, 3 und 4 zeigen, ist das magnetische Verhalten dieser Phasen gekennzeichnet durch einen schwachen Paramagnetismus, welcher, je nach Zusammensetzung der Phase, sowohl einen mit positivem wie auch negativem Vorzeichen versehenen Temperaturkoeffizienten aufweisen kann. Ein ähnliches Ergebnis erbrachte auch die Untersuchung des magnetischen Verhaltens der metallischen Phasen des $\text{Ti}_2(\text{Co,Fe})$ -Systems (Hiebl et al.²), ausführlich dargestellt bei Tuscher¹⁴. Eine umfassende Interpretation der magnetischen Eigenschaften dieser Phasen dürfte nur auf der Basis des allgemeinen Bandmodells des Magnetismus der Übergangsmetalle¹⁵ und ihrer Legierungen möglich sein: Die Form der Energiebänder und ihre Auffüllung durch Elektronen sowie die Lage des Fermi-niveaus bestimmen das Temperaturverhalten der Suszeptibilität und auch ihre Größe. Die unmittelbare Nachbarschaft im Periodensystem der in den untersuchten Mischphasen gegeneinander ausgetauschten Atomsorten Fe, Co und Ni legt darüber hinaus die Heranziehung des „rigid band“-Modells nahe. Die Berechtigung der Verwendung dieses Modells zur Interpretation der oben dargestellten experimentellen Ergebnisse wird durch Abb. 6 demonstriert. In ihr ist die Abhängigkeit der Suszeptibilität der Mischphasen $\text{Ti}_2(\text{Ni,Co})$, $\text{Ti}_2(\text{Ni,Fe})$ und $\text{Ti}_2(\text{Co,Fe})$ für zwei Temperaturen (80 K bzw. 300 K) von einer „mittleren Elektronenkonzentration pro Atom“ \bar{n}_e dargestellt. Zur Berechnung von \bar{n}_e wurden folgende Werte für die vorhandenen Atomsorten verwendet: Ti: 4, Fe: 8, Co: 9 und Ni: 10. Geringfügige Abweichungen der resultierenden Kurven im eisenreichen Teil des Diagramms deuten dabei die Grenzen der Anwendbarkeit des „rigid band“-Modells an, der prinzipiell gleiche Verlauf der Kurven ist allerdings durchgehend deutlich erkennbar. Der Magnetismus der Mischphasen $\text{Ti}_2(\text{Ni,Co})$, $\text{Ti}_2(\text{Ni,Fe})$ und $\text{Ti}_2(\text{Co,Fe})$ kann somit als ein durch Austausch verstärkter Pauli-Paramagnetismus verstanden werden.

bindungen der η -Oxide $\text{Ti}_4\text{Fe}_x\text{O}_x$ ($x \leq 1$)¹ bzw. $\text{Ti}_4\text{Co}_x\text{O}_x$ ($0 \leq x \leq 1$)¹⁴ beobachtet, Systeme, die ebenfalls das Ti_2Ni -Wirtgitter aufweisen.

Diese oben kurz zusammengefaßten experimentellen Ergebnisse über den Magnetismus der Hydride mit Ti_2Ni -Struktur stehen im Einklang mit Angaben in der Literatur der jüngsten Zeit, wo ebenfalls von den konträren magnetischen Auswirkungen der Wasserstoffabsorption auf nickel- bzw. cobalthältigen Phasen einerseits und eisenhaltigen andererseits ausführlich berichtet worden ist (z. B. 16,17). Allerdings wird zur Zeit dieser entgegengesetzte magnetische Einfluß des Wasserstoffs auf die magnetischen Momente von Cobalt und Nickel bzw. Eisen noch wenig verstanden. *Buschow* und *Sherwood*¹⁷ etwa benützen hierfür ein Modell mit Elektronenübertragung, wobei die Richtung des Ladungstransfers durch die von *Miedema*¹⁸ angegebenen Elektronegativitätsparameter der Metallatome bzw. deren Differenzen in bezug auf den entsprechenden Wert des Wasserstoffs bestimmt wird: Wasserstoff wirkt danach auf Cobalt bzw. Nickel als Elektronendonator, gegenüber Eisen aber als Elektronenakzeptor. Auf der Basis dieses Modells scheint auch ein prinzipielles Verständnis des magnetischen Verhaltens der oben bzw. von *Hiebl* et al.^{1,2} beschriebenen Hydride möglich zu sein.

Neben diesem „elektronischen Effekt“ der Wasserstoffabsorption muß allerdings auch noch die strukturchemische Auswirkung der Wasserstoffeinlagerung auf die magnetischen Eigenschaften der genannten Metallphasen berücksichtigt werden. Zur Zeit in Durchführung begriffene Neutronenbeugungsuntersuchungen an Deuteriden mit Ti_2Ni -Struktur sollen die exakte Lokalisierung der Wasserstoffatome wie auch der Metallatome ermöglichen. Erst die Kenntnis der Atomparameter der verschiedenen Atomsorten und der daraus resultierenden interatomaren Distanzen wird nähere Aussagen über den „strukturchemischen Effekt“ des Wasserstoffeinbaus auf den Magnetismus dieser Hydride gestatten.

Dank

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. *H. Bittner* für wertvolle Diskussionen und Herrn Prof. Dr. *H. Nowotny* für sein förderndes Interesse. Dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung sei für die Bereitstellung finanzieller Mittel unter der Projektnummer 1848 und für die Benützung der Suszeptibilitätsmeßgerätes SUS 10 gedankt.

Literatur

- ¹ *K. Hiebl, E. Tuscher* und *H. Bittner*, Mh. Chem. **110**, 9 (1979).
- ² *K. Hiebl, E. Tuscher* und *H. Bittner*, Mh. Chem. **110**, 869 (1979).
- ³ *K. Hiebl, E. Tuscher* und *H. Bittner*, Mh. Chem., in Vorbereitung.

- ⁴ *M. H. Mueller* und *H. W. Knott*, Trans. AIME **227**, 674 (1963).
- ⁵ *R. L. Beck*, DRI 2059, Summary Report, 1962, NSA 17-30969, OTS.
- ⁶ *J. J. Reilly* und *R. H. Wiswall*, BNL-50023, Brookhaven Nat. Lab., 1966, zitiert nach: *H. H. van Mal*, Philips Res. Repts. Suppl. No. 1, 1976.
- ⁷ *K. Yamanaka* und *M. Hokuda*, Japan. Kokai **50**, 123021 (1975).
- ⁸ *H. Buchner*, *M. Stohrer* und *O. Bernauer*: Cubic Metal-Alloys for Hydrogen Storage, in: Hydrogen Energy System (*T. N. Veziroglu* und *W. Seifritz*, Hrsg.), S. 1543—1560. Oxford-New York: Pergamon Press. 1978.
- ⁹ *H. Buchner*, *M. A. Gutjahr*, *K. D. Beccu* und *H. Säufferer*, Z. Metallkde. **63**, 497 (1972).
- ¹⁰ *K. Yamanaka*, *H. Saito* und *M. Someno*, J. Chem. Soc. Japan **8**, 1267 (1975).
- ¹¹ *M. H. Mintz*, *Z. Hadari* und *M. P. Dariel*, J. Less-Common Met. **63**, 181 (1979).
- ¹² *R. Sobczak* und *H. Bittner*, Rev. de Chimie min. t. **6**, 983 (1969).
- ¹³ *K. Honda* und *M. Owen*, Ann. Phys. Lpz. **32**, 1048 (1910), Ann. Phys. **37**, 657 (1912).
- ¹⁴ *E. Tuscher*, Dissertation: Wasserstoffabsorption und magnetische Eigenschaften intermetallischer Phasen mit Ti_2Ni -Struktur, Universität Wien, 1979.
- ¹⁵ *C. J. Kriessmann* und *H. B. Callen*, Phys. Rev. **94**, 837 (1954).
- ¹⁶ *W. E. Wallace*, *S. K. Malik* und *T. Takeshita*, J. Appl. Phys. **49**, 1486 (1978).
- ¹⁷ *K. H. J. Buschow* und *R. C. Sherwood*, J. Appl. Phys. **49**, 1480 (1978).
- ¹⁸ *A. R. Miedema*, J. Less-Common Metals **32**, 117 (1973).