

Festkörper Präparat - Cobalteisenstein

Protokoll zum Versuch des AC2 Praktikums von
Vincent Kümmerle & Elvis Gnaglo

Universität Stuttgart

Verfasser: Vincent Kümmerle, 3712667
st187541@stud.uni-stuttgart.de

Elvis Gnaglo, 3710504
st189318@stud.uni-stuttgart.de

Gruppennummer: A05

Versuchszeitraum: 20.10.-28.10.2025

Betreuer: Benjamin Knies

Abgabenummer: 2. Abgabe

Stuttgart, den 6. November 2025

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Struktur	1
3 Charakterisierungsmethoden	3
3.1 Erzeugung von Röntgenstrahlung	3
3.2 Röntgenbeugung	4
4 Durchführung	5
5 Ergebnisse	6
6 Zusammenfassung	7
7 Literatur	7

1 Einleitung

Cobalteisenstein weckte bereits in den frühen 1930er-Jahren in Japan großes Interesse. Besonders fiel er durch seinen hohen elektrischen Widerstand, die hohe Remanenz und Koerzitivkraft auf, bevor er als nichtleitender Permanentmagnet ab Anfang 1950 durch das günstiger herzustellende Bariumferrit abgelöst wurde. [1] Heutzutage finden Cobalferritnanopartikel Verwendung für Magnetspeichersysteme mit hoher Kapazität und als Katalysator für die Oxidation von Alkenen. [2],[3]

Das Ziel des Versuchs war die Synthese und Charakterisierung der Struktur von CoFe_2O_4 mit Röntgen-Pulverdiffraktometrie.

2 Struktur

Cobalteisenstein kristallisiert in der Spinellstruktur. [2] Die in Abbildung 1 dargestellte erweiterte Elementarzelle des Cobalteisensteins besteht näherungsweise aus einer kubisch-dichtesten Kugelpackung der O^{2-} -Anionen. Im normalen Spinell sind ein Achtel der Tetraederlücken mit Co^{2+} und die Hälfte der Oktaederlücken mit Fe^{3+} besetzt. Im inversen Spinell sind hingegen ein Achtel der Tetraederlücken mit Fe^{3+} und ein Viertel der Oktaederlücken mit Fe^{3+} sowie ein Viertel der Oktaederlücken mit Co^{2+} besetzt. Die Kationen sind tatsächlich zufällig auf die Tetraeder- und Oktaederlücken verteilt. [2]

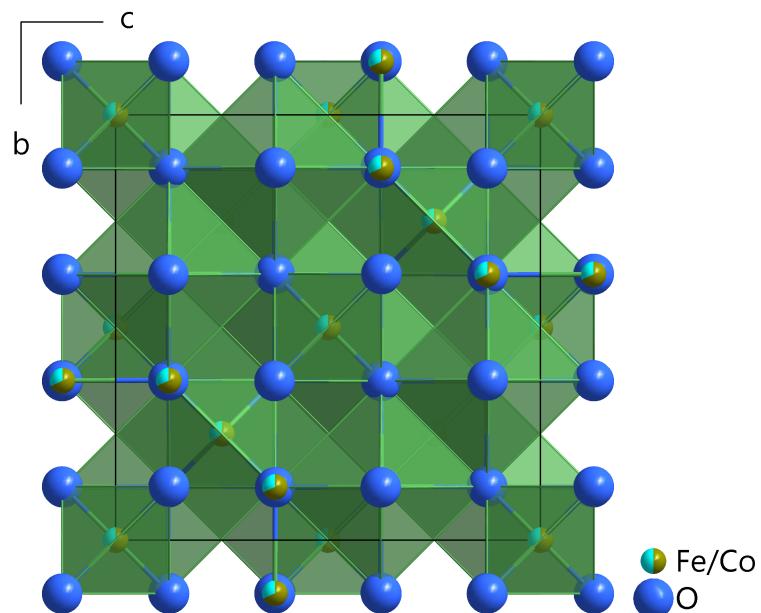


Abb. 1: Erweiterte Elementarzelle des CoFe_2O_4 . [2]

Die zufällige Verteilung lässt sich darauf zurückführen, dass Co^{2+} einen kleineren Ionenradius als Fe^{3+} aufweist und somit auch die Tetraederlücken besetzt, da diese eine geringere Bindungslänge zwischen Zentralkation und den O^{2-} -Anionen als die Oktaederlücken aufweist. Dies ist im Strukturausschnitt in Abbildung 2 aufgezeigt, in dem vier Anionen tetraedrisch um ein Metallkation angeordnet sind, wohingegen es in der Oktaederlücke in Abbildung 3 sechs Anionen sind.

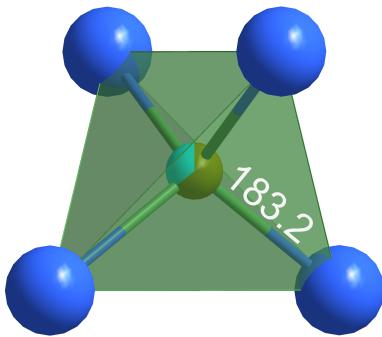


Abb. 2: Tetraederlücken in CoFe_2O_4 mit Bindungslänge zwischen Kation und Anion.
[2]

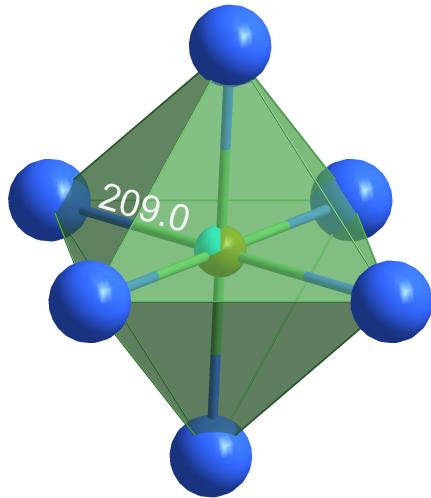


Abb. 3: Oktaederlücken in CoFe_2O_4 mit Bindungslänge zwischen Kation und Anion.
[2]

Die magnetischen Eigenschaften von Cobalteisenstein sind auf die Kopplung der magnetischen Momente der ungepaarten d -Elektronen der Metallionen in der Spinellstruktur zurückzuführen. [4] Die indirekten Superaustausch-Wechselwirkungen über die Oxidionen führen dazu, dass sich die Spins der Metallionen in den Tetraeder- und Oktaederlücken zufällig parallel oder antiparallel zueinander ausrichten.

Dabei bilden sehr viele dieser Gitterlücken eine magnetische Domäne. Wenn ein äußeres Magnetfeld angelegt wird, richten sich die Spins parallel oder antiparallel zum Magnetfeld aus, wodurch die Magnetisierung steigt. Auf Teilchenebene ist somit charakteristisch für ferrimagnetische Substanzen, dass sie verschieden große antiparallele ausgerichtete magnetische Momente aufweisen, die sich auch bei tiefen Temperaturen nicht kompensieren. Dadurch verhält sich Cobalteisenstein im Magnetfeld makroskopisch wie ein Ferromagnet, obwohl die mikroskopische Ordnung antiparallel ist. [4]

3 Charakterisierungsmethoden

3.1 Erzeugung von Röntgenstrahlung

Die hergestellte Verbindung wird mit Hilfe der Pulverdiffraktometrie charakterisiert. Dabei zeigt Abbildung 4, wie Elektronen über eine Heizspannung aus einer Wolframkathode in das Vakuum der Röntgenröhre geleitet und über die dort angelegte Beschleunigungsspannung zur Kupferanode beschleunigt werden. An der Anode können die freien Elektronen auf Elektronen in den inneren Schalen treffen und diese „herausschlagen“. Dabei dient die Wasserkühlung als Schutz vor dem Überhitzen und Schmelzen, da sie die Anode von hinten kühlt. [5]

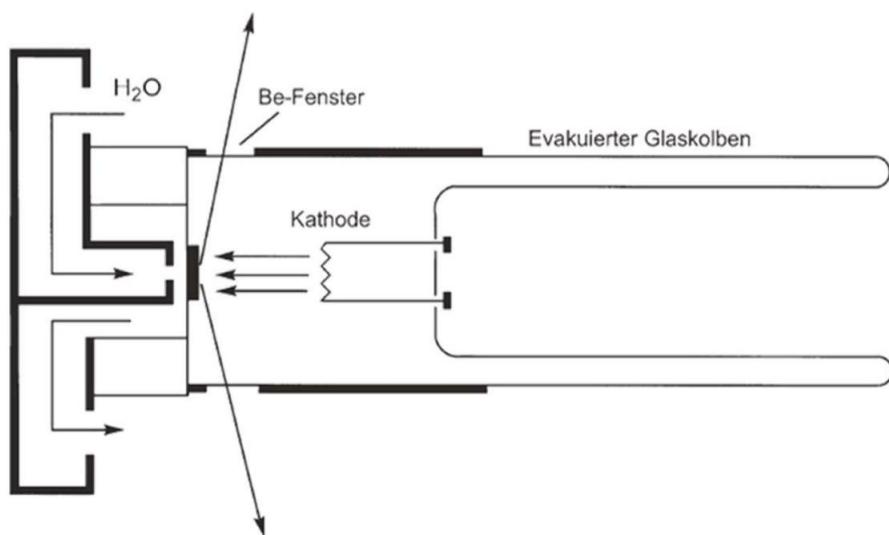


Abb. 4: Aufbau der Röntgenröhre mit Wasserkühlung, Kathode, Anode und Be-Fenster. [5]

Der dadurch erzeugte Elektronenmangel in der Schale wird durch ein Elektron aus einer höheren Schale ausgeglichen, wobei dieses beim Wechseln der Schalen Energie in Form von charakteristischer Röntgenstrahlung freisetzt. Diese entspricht dem Energieunterschied der Schalen.

Einige Elektronen dringen stattdessen bis zum Atomkern vor. Dort werden sie durch Wechselwirkungen mit dem Kern unter Abgabe von Röntgenstrahlung als Bremstrahlung mit vielen verschiedenen Wellenlängen abgelenkt. Beide Arten von Strahlung treten durch ein Berylliumfenster aus der andernfalls abgeschirmten Apparatur aus. Da diese Strahlung polychromatisch und somit für eine Analyse ungeeignet ist, wird die austretende Strahlung durch einen Monochromator wie Ni-Folie, die Strahlung bis zu einer gewissen Wellenlänge absorbiert, und einen Kollimator geleitet, wodurch nur die Strahlung der charakteristischen Wellenlänge des Übergangs auf die Probe trifft. Durch Beugung der Röntgenstrahlung am Kristallgitter der Probe können Beugungsreflexe detektiert werden, die durch ihre Intensität und räumliche Anordnung auf die Geometrie des Kristallgitters schließen lassen.

3.2 Röntgenbeugung

Diese Analysemethode verwendet spezifisch Röntgenstrahlung, da sich die Wellenlänge der Strahlung im Bereich von 50 pm bis 230 pm und somit in der gleichen Größenordnung wie die Gitterkonstante befindet. [5] Dadurch lässt sich auch erklären, wie die Strahlung an den Elektronen im Kristallgitter der Verbindung gebeugt werden kann. Es ist essenziell, dass die Wellenlänge nicht zu klein ist, um ungehindert durch das Gitter zu kommen, da so keine Beobachtungen möglich wären. Allerdings darf die Wellenlänge aber auch nicht zu groß sein, da die Reflexe so verbreitert und damit unscharf werden würden.

Wird ein Kristallgitter mit monochromatischem Licht bestrahlt, so tritt bei positiver Überlagerung der kugelförmigen Streuwellen konstruktive Interferenz auf, wenn der Gangunterschied Δ zwischen benachbarten Wellen ein Vielfaches der Wellenlänge λ beträgt. [5] Deswegen lassen sich nur an diesen "erlaubten" Stellen, an denen die Interferenzbedingung für alle Gitterpunkte gilt, im Raum scharfe Reflexe beobachten.

Die durch drei Punkte des Translationsgitters festgelegten Ebenen, an denen die Reflexion stattfindet, werden Netzebenen genannt. Zur Charakterisierung von Netzebenen werden die Miller-Indices hkl genutzt. Sie geben die Kehrwerte der Achsenabschnitte $\frac{1}{h}$, $\frac{1}{k}$ und $\frac{1}{l}$ von der Ebene, die dem Nullpunkt am nächsten liegt, mit der a -, b - und c -Achse der Elementarzelle an. Dabei sind die Indices der Flächen (hkl) ganze Zahlen, die angeben, wie oft eine Achse durch eine Netzebenenschar untergliedert wird. Für die davon ausgehenden Reflexe werden die Miller-Indices ohne Klammern verwendet. Aus der Spiegelbedingung für eine Netzebene bei konstruktiver Interferenz geht hervor, dass beim Strahlengang (siehe Abbildung 5) der Einfallswinkel θ gleich dem Ausfallswinkel sein und zusätzlich einen speziellen Wert aufweisen muss, bei dem alle Streuwellen im ganzen Translationsgitter in Phase sind. Dieser Winkel lässt sich aus dem Gangunterschied $2 \cdot d \cdot \sin \theta$ einer Welle, die an der nächst tiefer im Gitter liegenden Ebene reflektiert wird, mit der Bragg-Gleichung (siehe Gleichung 1) bestimmen.

$$2 \cdot d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda \quad (1)$$

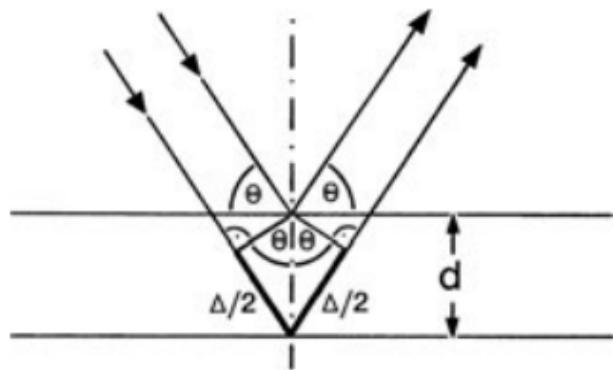


Abb. 5: Strahlengang des gebeugten Strahls nach Auftreffen auf das Gitter. [5]

Somit muss der Gangunterschied mit dem Netzebenenabstand d einem ganzzahligen Vielfachen der Wellenlänge λ entsprechen, damit die betrachteten Einfallswinkel θ erlaubt sind. Damit sind die möglichen Winkel für verschiedene Beugungsordnungen n festgelegt.

4 Durchführung

85 mg Co_3O_4 (0,352 mmol; 1 Äq.) und 170 mg Fe_2O_3 (1,066 mmol; 3 Äq.) wurden abgewogen und im Mörser zu einem feinen Pulver zerkleinert. Anschließend wurde das Gemisch in einen Porzellantiegel überführt und für 48 Stunden bei 800°C im Ofen erhitzt. [2]

Nach Abkühlen an der Luft wurde ein dunkelgraues Pulver erhalten. Dieses wurde anschließend erneut mit dem Mörser zu einem feinen Pulver gemahlen und auf den Probenträger des Pulverdiffraktometers getragen. Der Probenträger wurde danach in das Pulverdiffraktometer gespannt und die Probe wurde für 20 Minuten durch kontinuierliche Drehung und Bestrahlung mit $\text{Cu}-\text{K}_\alpha$ -Strahlung analysiert.

5 Ergebnisse

Die Abbildung 6 zeigt das gemessene Pulverdiffraktogramm der hergestellten Verbindung und die aus Einkristalldaten simulierten Diffraktogramme von Cobalteisenstein und Eisen(III)-oxid, wobei die relative Intensität gegen den Beugungswinkel θ aufgetragen wurde.

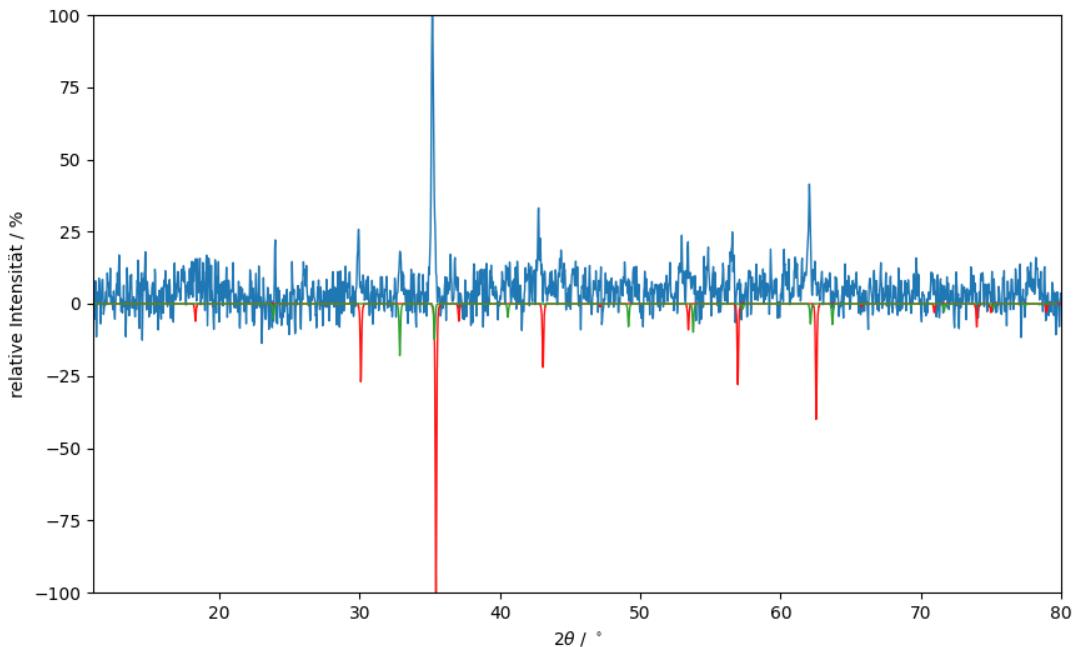


Abb. 6: Pulverdiffraktogramm des hergestellten CoFe₂O₄ (blau) im Vergleich mit den aus Einkristalldaten simulierten Diffraktogrammen von CoFe₂O₄ (rot) [2] und Fe₂O₃ (grün). [6]

Das Diffraktogramm zeigt, dass die Reflexe der hergestellten Verbindung im Großteil mit denen des aus Einkristalldaten simulierten Pulverdiffraktogramms von Cobalteisenstein übereinstimmen. Dadurch wurde bewiesen, dass Cobalteisenstein hergestellt wurde. Es sind allerdings noch weitere Reflexe beobachtbar, die mit denen des simulierten Pulverdiffraktogramms von Eisen(III)-oxid übereinstimmen. Dies macht erkennlich, dass Spuren von Eisen(III)-oxid vorhanden sind. Diese lassen sich durch den, für die Synthese verwendeten, Überschuss an Eisen(III)-oxid erklären.

6 Zusammenfassung

Cobalteisenstein wurde bei 800 °C in einer Festkörpersynthese aus Cobalt(II,III)-oxid und Eisen(III)-oxid hergestellt. Nach der Synthese konnte die Verbindung über Pulverdiffraktometrie mit Röntgenstrahlung erfolgreich als Cobalteisenstein mit Spuren von Eisen(III)-oxid identifiziert werden.

7 Literatur

- [1] T. Warner, *Synthesis, Properties and Mineralogy of Important Inorganic Materials*, John Wiley & Sons, **2011**, S. 109.
- [2] G. D. Rieck, J. J. M. Thijssen, *Acta Cryst. B24*, 982–983.
- [3] M. Kooti, M. Afshari, *Scientia Iranica* **2012**, 19, 1991–1995.
- [4] U. Müller, *Anorganische Strukturchemie*, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, **2008**, S. 341–344.
- [5] W. Massa, *Kristallstrukturbestimmung*, 8. Auflage, B. G. Teubner Verlag, Wiesbaden, **2015**, S. 14, 22–25.
- [6] E. N. Maslen, V. A. Streltsov, N. R. Streltsova, *Acta Cryst. B50*, 435–441.