

# Praktikum B

## 2.2 Überstruktur in Cu<sub>3</sub>Au

K. Jenni

12. Mai 2020

In vielen binären Legierungen mit bestimmten stöchiometrischen Zusammensetzungen treten unterhalb einer kritischen Temperatur  $T_C$  sogenannte Überstrukturen auf, während oberhalb  $T_C$  eine regellose Atomverteilung vorliegt. Überstrukturen sind dadurch gekennzeichnet, dass die verschiedenen Atomsorten nur bestimmte Typen von Untergitterplätzen besetzen.

In diesem Versuch soll das Ausbilden einer Überstruktur in der Legierung Cu<sub>3</sub>Au mittels zweier unterschiedlicher und voneinander unabhängiger Verfahren beobachtet und analysiert werden.

### 1 Die röntgenographische Methode

Die röntgenographische Methode basiert auf der Tatsache, dass das Streuvermögen der Cu- und der Au-Atome stark unterschiedlich ist. Das Ausbilden einer langreichweitigen Ordnung führt in den Beugungsbildern zusätzlich zu den fundamentalen Reflexen der Gitterstruktur zu Überstruktureflexen, aus deren Intensität der Ordnungsgrad der Probe auch quantitativ erschlossen werden kann. Die Bestimmung des Ordnungsgrades mittels Röntgenstreuung in diesem Versuch basiert auf der Pulverdiffraktion. Bei diesem Standardverfahren zur Strukturanalyse wird eine pulverförmige Probe mit einem Röntgenstrahl definierter Wellenlänge beleuchtet. Die von der Probe erzeugten Röntgenreflexe bilden gemäß dem Gesetz von Laue einen Kegel mit definiertem Öffnungswinkel  $\theta$ , der sich aus dem Bragg'schen Gesetz

$$n\lambda_{hkl} = 2d_{hkl} \sin(\theta) \quad (1)$$

bestimmt. Der klassische Versuchsaufbau der Pulverdiffraktion wird als Debye-Scherrer-Verfahren bezeichnet, bei dem die gestreute Strahlung mittels eines zylindrisch um die Probe positionierten photographischen Films detektiert wird. In diesem Versuch wird allerdings die sogenannte Bragg-Brentano-Geometrie verwendet und die gestreute Strahlung mit einem Proportionalzählrohr analysiert. Der Detektor fährt dabei alle Streuwinkel  $2\theta$  ab und wandelt die Strahlung in elektronische Signale um, so dass das Diffraktogramm digitalisiert und die gestreuten Intensitäten leicht ausgewertet werden können.

Zur Auswertung des Diffraktogramms müssen die beobachteten Reflexe zunächst den verschiedenen Gitterebenen ( $hkl$ ) zugeordnet werden. Für ein kubisches Gitter mit Gitterkonstante  $a$  ergibt sich für die Netzebenenabstände  $d_{hkl}$ :

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}, \quad (2)$$

so dass sich die beobachteten Reflexe leicht indizieren lassen (Wie?).

Der Ordnungsgrad  $S$  hängt vor allem von den Intensitäten der einzelnen Reflexen ab. Deshalb muss nach der Indizierung auch die Intensität der beobachteten Reflexe untersucht werden. Die Intensität eines Reflexes setzt sich dabei aus verschiedenen winkelabhängigen Faktoren zusammen:

$$I_{hkl} \propto |F|^2 p L_P A_T \quad (3)$$

Das Streuvermögen der Elementarzelle eines Gitters wird durch den komplexen Strukturfaktor  $F$  beschrieben. Dieser ist durch die Lage der Atome in der Elementarzelle gegeben und kombiniert das Streuvermögen der einzelnen Atome mit der Symmetrie der Elementarzelle. Berechnet wird der Strukturfaktor durch die Summation aller auftretenden Phasendifferenzen bei der Streuung an einer Elementarzelle, jeweils gewichtet mit dem Streuvermögen der jeweiligen Atome – dem Atomformfaktor  $f_n$  :

$$F_{hkl} \propto \sum_n f_n e^{i2\pi(hx_n + ky_n + lz_n)}, \quad (4)$$

wobei die Summe über alle Atome  $n$  mit den Koordinaten  $(x_n, y_n, z_n)$  in der Elementarzelle auszuführen ist. Der Strukturfaktor bestimmt also die Intensität jedes Reflexes  $hkl$  und vor allem, ob der Reflex in der gegebenen Symmetrie erlaubt oder verboten ist ([Leiten sie die Auslöschungsregeln für Cu<sub>3</sub>Au her](#)). Zur Bestimmung des Ordnungsgrades  $S$  ist dieser Faktor also die relevante Größe.<sup>1</sup> Der Flächenhäufigkeitsfaktor  $p$  ist aufgrund der hier verwendeten Pulvermethode zu berücksichtigen. Wie aus Gleichung (2) ersichtlich können bei der Pulverdiffraktion im Gegensatz zur Einkristalldiffraktion verschiedene Gitterebenen zu einem Reflex beitragen, da der Streuwinkel  $\theta$  nur durch den Gitterebenenabstand  $d_{hkl}$  bestimmt ist. In Tabelle 1 ist der Flächenhäufigkeitsfaktor für ein kubisches System tabelliert.

Netzebene	$(00l)$	$(hhh)$	$(0kk)$	$(0kl)$	$(hhl)$
$p$	6	8	12	24	24

**Tabelle 1:** Flächenhäufigkeitsfaktor  $p$  für ein kubisches Gitter

Die beiden übrigen Faktoren  $L_P$  und  $A_T$  beschreiben winkelabhängige Korrekturen. Der Lorentz-Polarisationsfaktor  $L_P$ , der verschiedene geometrische Effekte korrigiert, lässt sich durch einen einfachen analytischen Ausdruck in Abhängigkeit von  $\theta$  beschreiben. Im Faktor  $A_T$  sind sowohl Absorptionseffekte, als auch thermische Einflüsse vereint. Vor allem die Absorptionseffekte sind stark von der Probengeometrie abhängig ([Warum?](#)) und schwer zu bestimmen. Um bei der Bestimmung des Ordnungsgrades aus den beobachteten Intensitäten den Einfluss des Faktors  $A_T$  zu vernachlässigen, können die beobachteten Überstrukturreflexe nur mit benachbarten Fundamentalreflexen, d.h. Reflexen mit kleinem  $\theta$  Unterschied, verglichen werden ([Wieso?](#)). Außerdem ermöglicht die Normierung auf Fundamentalreflexe auch Intensitäten verschiedener Spektren miteinander zu vergleichen .

Der Fernordnungsgrad  $S$  ergibt sich aus dem Verhältnis der beobachteten Intensitäten der Überstrukturreflexe  $I^{\ddot{U}}$  und der Fundamentalreflexe  $I^F$  durch:

$$S^2 = \frac{I^{\ddot{U}}}{I^F} \left( \frac{(f_{Au} + 3f_{Cu})^F}{(f_{Au} - f_{Cu})^{\ddot{U}}} \right)^2 \frac{(pL_P)^F}{(pL_P)^{\ddot{U}}} \quad (5)$$

<sup>1</sup>Eine Formel zur näherungsweise Berechnung der Atomformfaktoren für Gold und für Kupfer findet sich im Anhang.

## 2 Das resistive Verfahren

Im resistiven Verfahren wird der Ordnungsgrad über den Unterschied des elektrischen Widerstandes bei  $T = 0\text{K}$  bestimmt. Die ungeordnete Probe besitzt dabei einen zusätzlichen Anteil im Widerstandsverhalten, der durch das Einsetzen einer langreichweitigen Ordnung vollständig unterdrückt wird. Dieser Unterschied in der elektrischen Leitfähigkeit bietet neben der röntgenographischen Methode ein weiteres unabhängiges Verfahren zur Analyse des Ordnungsgrades.

Der Widerstand eines einfachen Metalls setzt sich im wesentlichen aus zwei Termen zusammen, einem temperaturunabhängigen Anteil  $\rho_D$ , der die Streuung der Ladungsträger an Gitterfehlern und sonstigen Störstellen im Kristallgitter beschreibt, und einem temperaturabhängigen Teil  $\rho_L(T)$ , der durch die Streuung der Ladungsträger an elementaren Kristallanregungen – z.B. Phononen oder in magnetisch geordneten Substanzen Magnonen – bestimmt wird:

$$\rho(T) = \rho_D + \rho_L(T). \quad (6)$$

(Stellen Sie die Temperaturabhängigkeit von reinem Kupfer dar. Welche Proportionalitäten zur Temperatur gelten in den 3 charakteristischen Bereichen?) Ausgehend von reinem Kupfer ändert eine geringe Substitution der Cu-Atome durch Au-Atome sowohl den Restwiderstand  $\rho_D$  als auch die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes  $\rho_L(T)$ : die Au-Atome stören das regelmäßige Gitter der Cu-Atome und stellen somit zusätzliche Defektstellen im Cu-Gitter dar. Die Substitution der Au-Atome beeinflusst durch die unterschiedliche Atommasse zwischen Cu- und Au-Atomen das Phononenspektrum, so dass zusätzlich auch die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes beeinflusst wird.

Die Zahl der zusätzlichen Defektstellen ist für kleine Fremdatomkonzentrationen offensichtlich proportional zur Konzentration der Fremdatome und daher ergibt sich in guter Näherung folgende quadratische Konzentrationsabhängigkeit für den Restwiderstand der Legierung  $\text{Cu}_{1-x}\text{Au}_x$ :

$$\rho_D(x) = \rho_D(0) + Ax(1-x) \quad (7)$$

mit einer materialspezifischen Konstante  $A$ . Bei ordnungsfähigen Legierungen wie CuAu oder  $\text{Cu}_3\text{Au}$  muss noch eine zusätzliche Abhängigkeit vom Ordnungsgrad berücksichtigt werden; existiert nämlich eine langreichweitige Ordnung der substituierten Atome, so bilden diese ebenfalls ein regelmäßiges Gitter und bieten somit keine zusätzlichen Streuzentren für die Leitungselektronen. Eine quantenmechanische Störungsrechnung ergibt in diesem Fall eine quadratische Abhängigkeit des Restwiderstandes vom Ordnungsparameter  $S$ , so dass sich für die Konzentrationsabhängigkeit

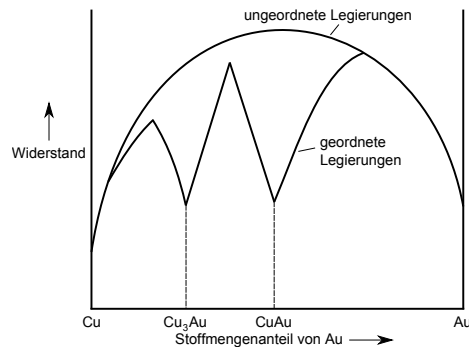
$$\boxed{\rho_D(x) = \rho_D(0) + Ax(1-x)(1-S^2)} \quad (8)$$

ergibt.

Die Bestimmung des Restwiderstandes bietet somit eine von der röntgenographischen Methode unabhängige Methode zur Bestimmung des Ordnungsgrades  $S$ . Im Versuch wird mittels der Vierpunktmethode die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes zwischen 300 K und 5 K gemessen, woraus sich der Widerstand bei  $T = 0\text{K}$  extrapolieren lässt.

## 3 Durchführung des Versuchs

Im Versuch werden drei  $\text{Cu}_3\text{Au}$ -Proben untersucht; eine Probe ist langreichweitig geordnet ( $S \approx 1$ ), eine Probe ist vollständig ungeordnet ( $S = 0$ ) und eine



**Abbildung 1:** Konzentrationsabhängigkeit des Restwiderstandes für  $\text{Cu}_3\text{Au}$  gemäß Gleichung (8) für  $S = 0$  und  $S = 1$ .

Probe ist nur teilweise geordnet ( $0 < S < 1$ ). Der unterschiedliche Ordnungsgrad wird dabei durch Erhitzen der Probe auf  $500^\circ\text{C}$ , also deutlich über die Ordnungstemperatur  $T_C = 386^\circ\text{C}$ , und anschließend unterschiedliches Abkühlen erreicht. Während die vollständig geordnete Probe nach der Erwärmung sehr langsam abgekühlt wird und sich somit eine langreichweitige Ordnung ausbilden kann, wird die ungeordnete Probe in Wasser abgeschreckt, so dass keine langreichweitige Ordnung etabliert und die Unordnung eingefroren wird. Eine teilweise Ordnung wird durch etwa zweistündiges Tempern der Probe bei  $T = 370^\circ\text{C}$  und abschließendes rasches Abkühlen erreicht. Diese Temperaturbehandlung ist nicht Teil der Versuchsdurchführung, sondern die Studierenden erhalten drei bereits präparierte Proben.

Von jeder der drei Proben wird sowohl ein Röntgendiffraktogramm aufgenommen, als auch die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes bestimmt. Die Röntgenröhre des Diffraktometers emittiert  $\text{Cu-K}\alpha$ -Strahlung. Aufgrund der Spin-Bahn-Kopplung ist die  $p$ -Unterschale von Kupfer allerdings in ein  $^2P_{3/2}$  und ein  $^2P_{1/2}$  Niveau aufgespalten, so dass die  $K\alpha$ -Linie in zwei Feinstrukturlinien  $K\alpha_1$  und  $K\alpha_2$  aufspaltet. Die Wellenlängen  $\lambda_{\alpha_1} = 1.5406 \text{ \AA}$  und  $\lambda_{\alpha_2} = 1.5444 \text{ \AA}$  sowie das Intensitätsverhältnis  $K\alpha_2/K\alpha_1 = 0.52$  der  $\text{Cu-K}\alpha$ -Strahlung sind bekannt ([Welche Auswirkungen kann dieses Linienspektrum auf das Diffraktogramm haben?](#)).

Die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes der drei Proben wird mittels der Vierpunktmethode bestimmt ([Warum diese Methode?](#)). Dafür werden auf jede Probe mit einem Silberkleber vier Kupferdrähte befestigt und an den Messstab angelötet. Der Messstab wird mit den Messgeräten verbunden ([Wie kann man die Spannungskabel  \$U\_{+/-}\$  und Stromkabel  \$I\_{+/-}\$  anschließen, ohne dass sich das Ergebnis für  \$R = U/I\$  ändert?](#)). Die Probe wird dann über einen Schrittmotor mit einstellbarer Geschwindigkeit in eine teilweise mit flüssigem Helium gefüllte Kanne gefahren. Die Position der Probe in der Kanne definiert über die Temperatur des Heliumgases die Probentemperatur, so dass auf diese Weise ein Temperaturbereich von Raumtemperatur bis  $\approx 5 \text{ K}$  leicht zugänglich ist. Der Widerstand der Probe wird mit Hilfe des sogenannten Schnellmessstabes bestimmt. Der Betrag der Stromstärke wird dabei konstant gehalten und die abfallende Spannung gemessen. Zusätzlich wird der Strom alle paar Messpunkte umgepolt ([Warum?](#)). Zur Bestimmung des spezifischen Widerstandes ist der Abstand der Kontakte auf der Probe sowie die Querschnittsfläche zu bestimmen ([Wie hängt der spezifische Widerstand mit der Probengeometrie zusammen? Formel](#)).

## 4 Auswertung

In der Vorbereitung auf den Versuch soll sowohl auf die experimentellen Methoden, die zum Nachweis der Überstrukturen in  $\text{Cu}_3\text{Au}$  verwendet werden, als auch auf die wesentlichen physikalischen Aspekte, die zum Verständnis des Versuchs wichtig sind, eingegangen werden. Die Vorbereitung soll zumindest die folgenden Punkte umfassen:

- Aufbau der wichtigsten Überstrukturen in  $\text{CuZn}$ ,  $\text{CuAu}$  und  $\text{Cu}_3\text{Au}$
- Ordnungsparameter und Phasenübergang
- Beschreibung von period. Strukturen mittels des reziproken Gitters
- Entstehung von Röntgenstrahlung
- Aufbau des Röntgendiffraktometers
- Reflexindizierung im Röntgendiffraktogramms
- Intensität der gestreuten Röntgenstrahlung (Strukturfaktor und Korrekturfaktoren)
- Elektrische Leitfähigkeit bei Metallen (Drude-Sommerfeld-Modell)
- Temperaturabhängigkeit des Widerstandes
- Vierpunktmethode zur Messung des Widerstandes

Die blau markierten Textstellen sollen Denkanreize geben, die im Antestat besprochen und im Praktikumsprotokoll schriftlich an entsprechender Stelle eingearbeitet werden.

Grundsätzlich ist der physikalische Ursprung sämtlicher in der Auswertung verwendeter Begriffe zu verdeutlichen, alle in der Auswertung verwendeten Formeln sind in der Vorbereitung abzuleiten. Hierbei soll sich jedoch auf die wesentlichen physikalischen Hintergründe beschränkt werden, eine exakte Herleitung der Formeln ist nicht nötig, es reicht ein Verweis auf die verwendete Theorie.

Ziel der Auswertung ist die Untersuchung der langreichweitigen Ordnung und die Analyse des Ordnungsgrades der verschiedenen Proben. Zur Bestimmung der beobachteten Intensitäten aus den experimentellen Daten ist besonders auf eine geeignete Korrektur des apparativen Untergrundes zu achten. Der Ordnungsgrad  $S$  ergibt sich dann aus Gleichung (5) der Anleitung. Untersuchen Sie, ob es bei der Bestimmung des Ordnungsgrades ein systematischer Unterschied zwischen der Berechnung aus den absoluten Intensitäten (Höhe der Reflexe) und aus den integrierten Intensitäten (Fläche unter den Reflexen) gibt. Zusätzlich sind aus den beobachteten Peakpositionen die Gitterkonstanten der drei Proben zu berechnen.

Die Bestimmung des Ordnungsgrades  $S$  aus dem elektrischen Widerstand erfolgt über Gleichung (8) der Anleitung. Zunächst müssen die Datenpunkte, die durch das Umpolen des Stroms entstanden sind, gemittelt werden. Dazu mittelt man immer die Widerstandswerte zweier aufeinander folgender Datenblöcke bei positivem und negativem Strom und ordnet sie einer gemittelten Temperatur zu. Stellen Sie die original Daten zusammen mit den gemittelten Daten jeweils in einem Diagramm dar. Fertigen Sie zusätzlich ein Diagramm an, in dem Sie die gemittelten *spezifischen* Widerstände aller Messungen vergleichen. Den Restwiderstand der jeweiligen Probe erhält man aus den aufgenommenen

Temperaturkurven durch eine sinnvolle Extrapolation  $T \rightarrow 0$ . Dabei ist nur der Ordnungsgrad der teilweise geordneten Probe zu bestimmen, für den Ordnungsgrad der vollständig geordneten Probe ist in diesem Teil  $S = 1$  zu setzen. Existiert ein Unterschied bei der Bestimmung des Ordnungsgrades aus den Widerstandsdaten bei Raumtemperatur und bei  $T = 5\text{ K}$  und was würden Sie erwarten?

## 5 Literatur

Eine allgemeine Einführung in die Theorie der Ordnungs-Unordnungsübergänge von Legierungen findet sich in vielen Büchern der Metallphysik, z. B. in

- Cottrel, *Theoretical Structural Metallurgy*

Zur Theorie der Beugung von Röntgenstrahlung an periodischen Strukturen existiert eine Vielzahl von Lehrbüchern. Für diesen Versuch sind besonders folgende Bücher zu empfehlen, da sie auch die wichtigsten Überstrukturen (z. B. CuZn, CuAu und auch Cu<sub>3</sub>Au) vorstellen und die Besonderheiten bei der Streuung an Überstrukturen eingehen:

- B. D. Cullity, *Elements of X-Ray Diffraction*
- B. E. Warren, *X-Ray Diffraction*

Weitere, sehr empfehlenswerte Einführungen in die Theorie der Diffraktion sind im Internet zu finden unter:

- <http://epswww.unm.edu/xrd/>
- <http://www.matter.org.uk/diffraction/>
- <http://www.uni-wuerzburg.de/mineralogie/crystal/teaching/>

Weiterführende Literatur über die Eigenschaften der zu untersuchenden Legierung Cu<sub>3</sub>Au und Ordnungs-Unordnungsübergänge geben folgende Artikel:

- Foster et al., *Review of Modern Physics*, **10**, 1(1938)
- Keating et al., *Journal of Applied Physics*, **22**, 286(1951)
- Chipman, *Journal of Applied Physics*, **27**, 739(1956)

Sämtliche hier aufgeführten Lehrbücher und Artikel sind in der zentralen Bibliothek der physikalischen Institute oder in der Bibliothek des II. Physikalischen Instituts verfügbar, die angegebenen Artikel können entweder über einen smail-Account oder im CIP-Pool auf der Homepage von Physical Review (<http://prl.aps.org>) heruntergeladen werden oder können bei den Betreuern als Kopiervorlage abgeholt werden.

## A Bestimmung der Atomformfaktoren

Zur Auswertung der gemessenen Röntgendiffraktogramme werden die Atomformfaktoren  $f_i$  von Cu und Au benötigt, die das unterschiedliche Streuvermögen der verschiedenen Atomsorten beschreiben. Die Abhängigkeit der Formfaktoren vom Streuwinkel  $s$  läßt sich mit folgender numerischer Formel näherungsweise bestimmen:

$$f(s) = \sum_{i=1}^5 a_i e^{-b_i s^2} + c \quad (9)$$

mit  $s = \sin(\theta)/\lambda$  [ $\text{\AA}^{-1}$ ]. Die Parameter  $a_i, b_i, c$  sind für alle Elemente tabelliert.<sup>2</sup>

		$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 5$	$c$
Cu	$a_i$	14.014192	4.784577	5.056806	1.457971	6.932996	-3.254477
	$b_i$	3.738280	0.003744	13.034982	72.554794	0.265666	
Au	$a_i$	16.777390	19.317156	32.979683	5.595453	10.576854	-6.279078
	$b_i$	0.122737	8.621570	1.256902	38.008820	0.000601	

**Tabelle 2:** Parameter zur näherungsweisen Bestimmung der Atomformfaktoren für Kupfer und Gold.

<sup>2</sup>D. Waasmaier und A. Kirfel, *New Analytical Scattering Factor Function for Free Atoms and Ions* in Acta Cryst. A, 1995

Arbeitsplatz:	<b>BETRIEBSANWEISUNG</b> <b>gemäß § 20 GEFSTOFFV</b>	Stand 5/2011  Datum: 31.05.2011
---------------	---	--

## *Helium, flüssig, tiefkalt*

Kp.: -269°C Fp.: -272°C Löslichkeit (H<sub>2</sub>O/20°C): 0.86 ml/100 ml rel. Dampfdichte<sub>(Luft)</sub> = 1 : 0.14

### Physikalische Gefahren:

Gefäße mit Kratzern neigen zu spontaner Implosion!

Bei einem offen stehenden Behälter ist Sublimieren von Luft in den Behälter und die Sicherheitseinrichtung möglich. Dabei kann es zum Verschluss von notwendigen Druckentlastungsöffnungen kommen, der zu einer lebensbedrohenden Druckerhöhung vom Behälter führen kann.

### Gesundheitsgefahren:

In hohen Konzentrationen Ersticken ohne Vorankündigung!

H 281 Enthält tiefkaltes Gas; kann Kälteverbrennungen oder -Verletzungen verursachen. Je nach Dauer des Kontakts entstehen tiefe Gewebszerstörungen, Erfrierungen und schwere Augenschäden.



**Achtung**

### Sicherheitshinweise Prävention:

P282 Schutzhandschuhe / Gesichtsschild / Augenschutz mit Kälteisolierung tragen



### Technische Maßnahmen:

P403 Helium-Kannen an gut belüfteten Ort aufbewahren.

- an Helium-Rückleitung anschließen

Abfüllen nur in gut belüfteten Räumen durch eingewiesene Personen

- flüssiges Helium nur in trockene ummantelte Dewar-Gefäße abfüllen
- Behälter und Leitungen sind eindeutig zu kennzeichnen.
- Absperrarmaturen nicht ruckartig betätigen
- Vereisungen an Armaturen und Behälter nur mit warmer Luft entfernen
- Kann durch Wärmeeinwirkung ein gefährlicher Druck entstehen, so sind geeignete Sicherheitseinrichtungen vorzusehen. Bei Vereisung für Druckentlastung sorgen.



### Organisatorische Maßnahmen:

Transport hat im Aufzug **ohne Personenbeteiligung** zu erfolgen. Für den Transport sind nur spezielle Kryobehälter oder Helium-Kannen zu verwenden.

**Verhalten im Gefahrenfall:** Bei massiven Gasaustritt Raum verlassen. Alarmieren weiterer Personen. Raum belüften. Verletzte unter Selbstschutz aus der Gefahrenzone bringen.

### Erste Hilfe:

#### Haut-und Augenkontakt:

P 315 Sofort ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.

P 336 Vereiste Bereiche mit lauwarmem Wasser auftauen. Betroffenen Bereich nicht reiben. Steril abdecken. Arzt hinzuziehen.

**Einatmen:** Hohe Konzentrationen können Ersticken verursachen. Symptome können Verlust der Bewegungsfähigkeit und des Bewusstseins sein. Das Opfer ist unter Beachtung des Selbstschutzes in frische Luft zu bringen. Warm und ruhig halten. Arzt hinzuziehen. Bei Atemstillstand künstliche Beatmung unter Beachtung des Selbstschutzes.



### Notrufnummern:

**Rettungsdienst: 01-112**

**Nächstes Krankenhaus:** 01-4792213 Evangelisches Krankenhaus,  
Weyertal 76, 50931 Köln

**Hausmeister Hauptgebäude: 2200**

Falls notwendig: \* Standort angeben

(Unterschrift)



