**Hamburger Fern-Hochschule / Studienzentrum Kaiserslautern**
**Fachbereich Technik: Wirtschaftsingenieurwesen (B.Eng.)**

**Werkstofftechnik Labor an der Fachhochschule Kaiserslautern**
**(Morlauter Str. 31, 67657 Kaiserslautern, Stadort I, Gebäude I)**

# Lichtmikroskopische Gefügeanalyse an untereutektoiden Stählen

| | |
|---|---|
| **Semester:** | 1 |
| **Gruppe:** | 1 |
| **Gruppenteilnehmer:** | Χηριστιαν Μυστερμανν, Χηριστιαν Μυστερμανν, Peter Kubik, Φελιξ Μυστερμανν |
| **Datum:** | 10. April 2010 |
| **Protokollführer:** | Peter Kubik |
| Matrikel-Nr.: | 0000000 |

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung..... 03
2. Gittertypen..... 03
2.1 Gitterfehler..... 03
2.2 Gefüge..... 04
2.3 Primärgefüge..... 04
2.4 Sekundärgefüge..... 05
2.5 Zustandsbeschreibung..... 05
2.6 Vollständig löslich..... 05
2.7 Vollständig unlöslich..... 05
2.8 Teilweise löslich..... 06
2.9 Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm..... 06
3. Versuchsdurchführung..... 07
3.1 Präparation..... 07
3.2 Mikroskop..... 08
3.3 Auswertung..... 08
8. Quellenverzeichnis..... 10
8.1 Bücher..... 10
8.2 Abbildungen..... 10

Diese Datei wurde unter der GNU-Lizenz für freie Dokumentation veröffentlicht

# 1. Einleitung

Das Gefüge ist der Träger aller Werkstoffeigenschaften. Die Lichtmikroskopische Gefügeanalyse hat das Ziel, den Aufbau der Werkstoffe, also deren Struktur, festzustellen und daraus Aussagen über die Art des Werkstoffes, dessen Vorgeschichte und Verhalten abzuleiten. Voraussetzung für das Sichtbarmachen der Struktur von Werkstoffen ist die Herstellung entsprechender Präparate, deren Struktur mittels Mikroskopie analysiert werden kann.

# 2. Gittertypen

Die Gitterstruktur der natürlich vorkommenden oder synthetisch erzeugten Kristalle, lassen sich alle einem der 14 Grundgitter, den sogenannten Bravaisgitter zuordnen. Davon sind 90 Prozent aller Metalle den wichtigsten drei Gittertypen zugeordnet.

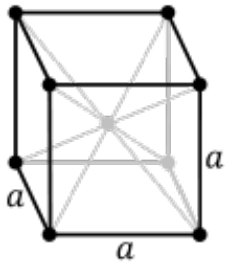


**Abb. 1.0.1: krz-Gittertyp**

**kubisch raumzentriert (krz)**

$\alpha - Fe, \delta - Fe, Cr, Mo, \alpha - W, V$

Packungsdichte: 0,68

Besetzungszahl: 2

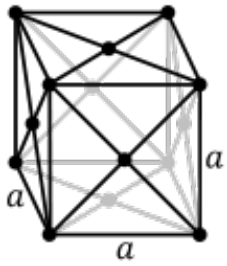


**Abb. 1.0.2: kfz-Gittertyp**

**kubisch flächenzentriert (kfz)**

$\gamma - Fe, Ag, Au, Cu$

Packungsdichte: 0,74

Besetzungszahl: 4

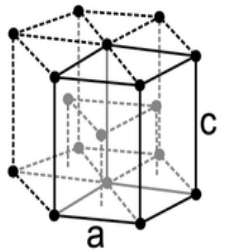


**Abb. 1.0.3: hdP-Gittertyp**

**hexagonal dichteste Packung (hdP)**

$\alpha - Co, Mg, Zn, \alpha - Ti, Cd$

Packungsdichte: 0,74 bei $\frac{c}{a} \approx 1{,}63$

Besetzungszahl: 2

## 2.1 Gitterfehler

Als Gitterfehler (auch Gitterdefekt oder Kristallfehler) wird jede Unregelmäßigkeit in einem sonst periodischen Kristallgitter bezeichnet. Die Existenz von Gitterfehlern unterscheidet den realen Kristall vom theoretischen Modell des idealen Kristalls. Gitterfehler haben einen wesentlichen Einfluss auf die Eigenschaften eines Werkstoffes.

Technische Werkstoffe sind in der Regel vielkristallin. Das bedeutet, dass während der Kristallisation (beim Zusammenwachsen zweier Kristalle aus der Schmelze oder im festen Zustand) sich Grenzflächen als zweidimensionale Gitterfehler gebildet haben. Um das Prinzip der zweidimensionalen Gitterfehler bei Metallen zu verstehen, sollte man wissen, dass Kristallite häufig auch als Körner bezeichnet werden und durch Gitterfehler, die man als Korngrenzen bezeichnet entstehen .

Die Korngrenzen entstehen dadurch, dass zwei Bereiche (Atomgitter) eine unterschiedliche Gitterorientierung besitzen – also in einem unterschiedlichen Winkel zueinander stehen. Dabei unterscheidet man die Kleinwinkelkorngrenzen mit einer Winkelabweichung von bis zu 10°. Die Kleinwinkelkorngrenzen erzeugen die Subkörner. Die normalen Korngrenzen werden durch Großwinkelkorngrenzen gebildet. Die Großwinkelkorngrenzen entstehen durch unterschiedliche Gitterorientierungen von mehr als 10°. Außerdem haben hier die Kristallite größere Abstände voneinander (mehrere Atomabstände).

Der Stapelfehler ist die Unterbrechung einer regelmäßigen Stapelung von Kristallebenen. Der Stapelfehler führt zur Bildung von Korngrenzen und verhindert somit, dass sich ein Einkristall bilden kann.

Zwillingsgrenzen sind eine Sonderform der Korngrenze, da sich hier zwei Kristalle – das Zwillingspaar – eine Atomreihe als Grenze teilen.

## 2.2 Gefüge

Als Gefüge bezeichnet man in der Werkstoffkunde die Form und die Anordnung der Bestandteile von aus Schmelzen entstandenen Stoffen wie Metallen und Legierungen. Dabei wird zwischen dem Primärgefüge und dem Sekundärgefüge unterschieden.

In Metallen und Legierungen sind die Kristalle üblicherweise mikroskopisch klein und werden als Kristallite oder Körner bezeichnet. Die Berührungsflächen zwischen den Kristalliten heißen dementsprechend Korngrenzen. Der Begriff Gefüge umfasst dabei das Gemenge der Kristallite selbst, sowie alle gegebenenfalls auftretenden Phasen (definierte atomare Struktur) und Defekte wie zum Beispiel Poren oder Lunker. Die Phasen muss nicht nur flüssig oder fest sondern kann auch gasförmig und in Form von Plasma vorkommen.

## 2.3 Primärgefüge

Das Primärgefüge entsteht unmittelbar nach der Erstarrung, wenn die Schmelze eines kristallinen Stoffes abkühlt. Beim Erreichen der Erstarrungstemperatur kommt es an vielen Stellen innerhalb der Schmelze, ausgehend von zufällig entstandenen Kristallisationskeimen, zur Kristallbildung. Diese Kristalle wachsen im weiteren Verlauf der Abkühlung solange, bis sie schließlich aneinanderstoßen. Je nachdem, ob es sich bei der Schmelze um einen ein- oder mehrphasig erstarrenden Stoff handelt, können im Verlauf der Ankristallisation von Schmelze an den Dendriten noch Entmischungsphänomene auftreten. Diese Entmischungen sind in unterschiedlichen Schmelzpunkten der beiden Stoffe und deren Löslichkeiten begründet.

## 2.4 Sekundärgefüge

In vielen Fällen kommt es im Nachgang der Erstarrung der Schmelze aufgrund der vorhandenen Restwärme zu einer quasi „unfreiwilligen“ Wärmebehandlung. Dieser Vorgang wird als Selbstanlassen bezeichnet. Ein Selbstanlassen, wie auch eine technische Wärmebehandlung, führt zu Umwandlungs-, Ausscheidungs- und Rekristallisierungsvorgängen, die das Sekundärgefüge zur Folge haben. Dies sind jedoch immer Festkörperreaktionen.

## 2.5 Zustandsbeschreibung

Die Beschreibung der Abhängigkeit des Zustandes der Phasen von der Konzentration oder Temperatur erfolgt durch ein Zustandsdiagramm. Bei den nachstehenden Zweistoffsystemen wird aus Gründen der einfachen Veranschaulichung der Zusammenhänge immer angenommen, dass es nur zwei Komponenten sind, die gemischt werden. Diese sind entweder vollständig löslich, vollständig unlöslich oder teilweise löslich.

## 2.6 Vollständig löslich

Für Systeme mit vollständiger Löslichkeit gilt die ununterbrochenen Mischkristall-Reihe (MK-Reihe). Komponente A und B sind somit vollständig ineinander löslich.

Über der Liquiduslinie liegt die Schmelze aus A+B vor. Zwischen Liquidius- Soliduslinie das Zweiphasengebiet aus Schmelze + MK. Unter der Soliduslinie das Gebiet des homogenen Mischkristalls.

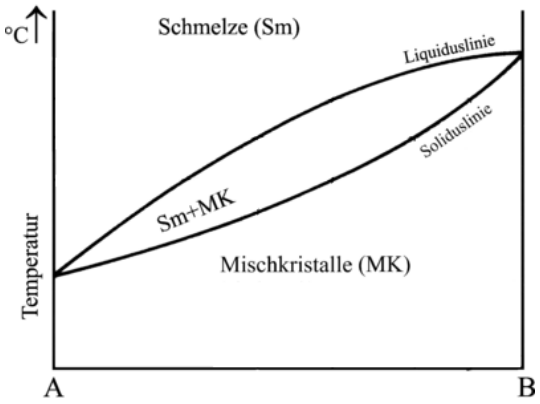


**Abb. 2.6.1: Zustandsdiagramm mit vollständiger Löslichkeit**

## 2.7 Vollständig unlöslich

Setzt man einer Komponente A die Komponente B hinzu, so wird der Schmelzpunkt von A mit Zunahme von B-Anteilen verringert. Umgekehrt verringert sich der Schmelzpunkt von B bei Zunahme von A-Anteilen. Der niedrigste Schmelzpunkt liegt im Punkt Eu (Eutektikum).

Das Lot hat die Eigenschaft, dass sein Schmelzpunkt niedriger ist als der der einzelnen Metalle und der des Werkstücks.

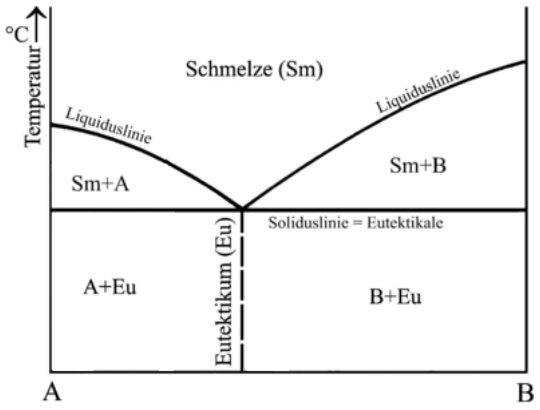


**Abb. 2.7.1: Zustandsdiagramm mit vollständiger Unlöslichkeit**

## 2.8 Teilweise löslich

Häufig tritt der Fall auf, dass die Komponenten nur in einem beschränkten Umfang miteinander mischbar sind. So wie es bei der Löslichkeit von Stickstoff in Eisen ist. Legierungen dieser Art können zwar Mischkristalle bilden, jedoch nicht in jeder Zusammensetzung. Typische MK-Bildner sind: Aluminium-Magnesium, Blei-Zinn, Kupfer-Aluminium, Kupfer-Zink, Kupfer-Zinn, Zink-Aluminium.

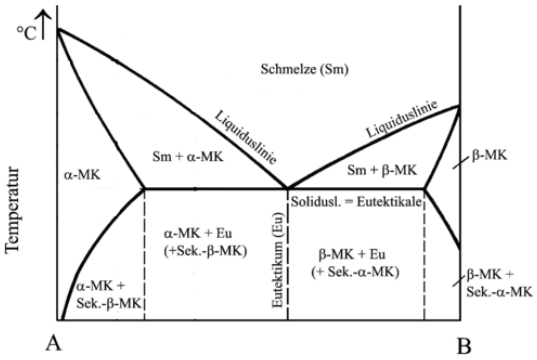


**Abb. 2.8.1: Zustandsdiagramm mit teilweiser Löslichkeit**

## 2.9 Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm

Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm lässt sich in drei Hauptbereiche unterteilen.

**Bereich 1**

Dieser Bereich umfasst die Gebiete um den Punkt C. Hier findet die Phasenumwandlung von flüssig zu fest statt. Beim Punkt C liegt das Eutektikum. Außerdem liegt in diesem Bereich der Punkt E, der auf der Konzentrationslinie von 2,06% Kohlenstoff liegt. Die 2,06%-Kohlenstoffgrenze ist für die Werkstofftechnik besonders wichtig, da Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, die einen höheren Kohlenstoffgehalt aufweisen als Eisen bezeichnet werden, die die darunter liegen (von 0,002% bis 2,06% C) als Stahl.

**Bereich 2:**

Das besondere am zweiten Bereich im Eisen-Kohlenstoff-Diagramm ist, dass hier eine Umwandlung von fest zu fest stattfindet. Bei Punkt S befindet sich der Eutektoid (= ein Eutektikum bei einer Umwandlung im festen Zustand). Das Gefüge des Eutektoid wird Perlit genannt.

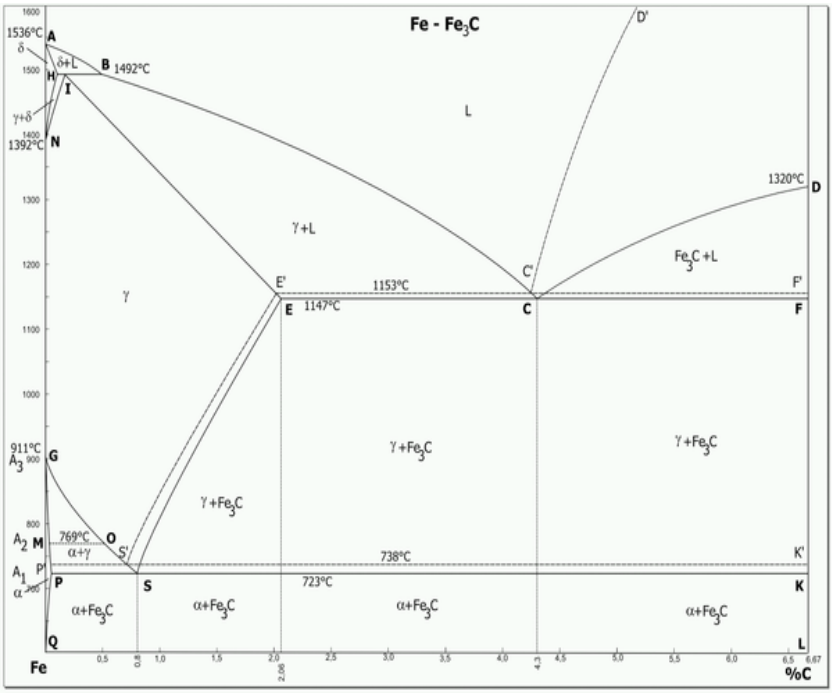


**Abb. 2.9.1: Eisen-Kohlenstoff-Phasendiagramm**

**Bereich 3:**

In diesem Bereich liegt (wie in Bereich 1) eine Umwandlung von flüssig zu fest vor. Das besondere hier ist aber, dass in diesem Bereich des Eisen-Kohlenstoff-Diagramms das Peritektikum liegt. Das Peritektikum ist ein α-Mischkristall, um den sich bei weiterer Abkühlung ein β-Mischkristall bildet.

# 3. Versuchsdurchführung

Ein Werkstoffgefüge aus unlegierten Zugstäben vom Typ S235 und C45 aus einem Zugversuch soll in Längs- und Querrichtung durch entsprechende Präparation entwickelt und die Gefügezustände im Lichtmikroskop beurteilt werden. Art, Größe, Form, Anordnung und Volumenanteile der Gitterdefekte des Festkörpers sind qualitativ zu beschreiben und insbesondere die Kohlenstoffgehalte abzuschätzen.

## 3.1 Präparation

Um überhaupt eine Lichtmikroskopische Untersuchung durchführen zu können, ist eine Präparation des Werkstoffes notwendig. Dazu sind nachfolgende Schritte notwendig. Aus zeitlichen Gründen wurde die Zugprobe bereits entnommen und in Kunstharz eingebettet.

**Probenentnahme.** Eine gezielte Probe aus dem Zugstab (30mm von der Bruchstelle entfernt) wird bei heraustrennen mit einem Kühl-/Schmiermittel auf niedriger Temperatur gehalten um das Gefügebild nicht zu verändern. Dazu stehen eine Präzisions-Ttrenneinrichtung (Stuers, Accutom-5, Bj. 1997) und eine Trennscheibe ($AL_2O_3$/Bakelit) zur Verfügung.

**Einbetten.** Im nächsten Arbeitsgang wird die herausgetrennte Probe in Form einer kleinen Petrischale (zirka 40m Durchmesser/15mm Stärke) mit Kunstharz eingebettet.

**Schleifen und Polieren.** Ziel dieses Vorganges ist es, die Probe von Kratzern und Verformungen zu befreien und einen freien Schliff herzustellen. Dazu steht eine Poliermaschine (Struers, RotoPol-11, Bj. 1997) bereit. Die Probe wird in den automatischen Probebeweger (Struers, RotoForce-1, Bj. 1997) eingespannt und plangeschliffen (Diamantscheibe, Körnung 120 – Struers MD Piano). Wasser dient zur Kühlung und Schmierung. Der Feinschliff erzeugt eine Oberfläche mit sehr kleinen Verformungen und Rauheit. Diese Verformungen können durch späteres Polieren entfernt werden. Der Feinschliff wird auf einer harten Unterlage (Struers MD Allegro) mit Diamantschleifmittel (Körnung 9µm) und Schmiermittel auf Alkoholbasis durchgeführt. Der Schleifvorgang darf nicht mit zu hohen Druck auf die Probe erfolgen, da ansonsten große Verformungszonen auf der Probe entstehen könnten. Die Abschließende Polierphase unterteilt sich in ein Vorpolieren und ein Feinpolieren. Beim Vorpolieren wird ein Diamantspray mit 3µm Körnung, alkoholischen Schmiermittel und ein Kunstseidentuch mittlerer Stoßelastizität (Struers MD Dac) verwendet. Vorteil hierbei sind gut polierte Oberflächen und niedrige Rauheit und Verformungstiefen, aber Kantenabrundungen, die das Bild unter dem Mikroskop unscharf erscheinen lassen. Das Feinpolieren mit Siliziumoxid ($SiO_2$) und Wasser erfolgt auf einem weichen Poliertuch. Um störende Rückstände vom vorhergegangenen Arbeitsschritt und damit grobe Kratzer zu vermeiden, wird die Probe nach jedem Arbeitsschritt mit Wasser, Seife und Watte gründlich gereinigt.

**Ätzen.** Als Ätzmittel wird eine 3%ige alkoholische Salpetersäure verwendet. Dadurch entwickelt sich das Gefüge und ist unter dem Mikroskop zu erkennen.

## 3.2 Mikroskop

Beurteilt wird das Gefüge mit einem Mikroskop (Zeiss, Axioplan 2, Bj. 1997). Es kann im Auflicht Hell- und Dunkelfeld betrieben werden und ist mit einer elektronischen Messeinrichtung ausgerüstet.

**Abb. 3.2.1: Auflichtmikroskop**

## 3.3 Auswertung

Die Mikroskopischen

Schliffbilder der Gefügeanalyse werden mit Hilfe der Gefügebilder aus der DIN EN ISO 643 (alt: DIN 50601) verglichen und anhand der Korngröße der Korngrößenzahl G zugeordnet. Hiermit lässt sich dann der mittlere Korndurchmesser bestimmen.

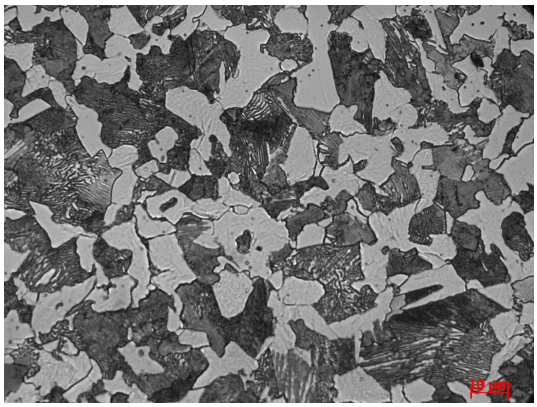

**Abb. 3.3.1: C45, Perlit & Ferrit (10µm)**

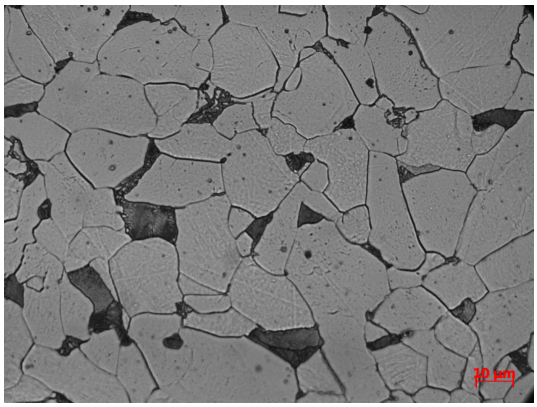

**Abb. 3.3.2: S235, Ferrit & Perlit (10µm)**

| | Probe 1 | Probe 2 |
|---|---|---|
| Werkstoff | S235 | C45 |
| Werkstoffzustand | normalisiert | |
| **Probepräparation** | | |
| Probenentnahme | aus Zugstab | |
| Ort | 30mm von Zugprobe entfernt | |
| Richtung | Quer zur Walzrichtung | |
| Details | siehe Laborunterlagen: Abschnitt 4.2.2.1 | |
| **Auflichtmikroskop** | | |
| Typ | Zeiss Axioplan 2 | |
| Vergrößerung | 25, 50, 100, 200, 500, 1000 | |
| Hellfeld | X (Licheinfachh senkrecht) | |
| Dunkelfeld | --- | |
| **Gefüge** | | |
| Phasenart | %a-MK + Fe3C | Fe3C + %a-MK |
| Gefügebestandteile | Ferit, Perlit | Perlit, Ferit |
| Korngröße des %alpha-MK | 14,2 µm | 7,1 µm |
| Kohlenstoffgehalt in Masse-% | 0,04 | 0,48 |
| Gefügefehler | Einschlüsse und Poren | |
| **Beurteilung der mechanischen Eigenschaften** | | |
| Festigkeit | weniger | mehr |
| Härte | weniger | mehr |

**Abb. 3.3.3: Protokoll der Gefügeanalyse**

# 8. Quellenverzeichnis

## 8.1 Bücher

Prof. Dr.-Ing. habil. Horst-Dieter Tietz
SB: Werkstofftechnik 1
01-0364-001-2

Prof. Dr.-Ing. habil. Horst-Dieter Tietz
SB: Werkstofftechnik 1
01-0364-002-2

Prof. Dr.-Ing. J.E. Hoffmann
Lehrgebiet Werkstoffkunde
Werkstofftechnik Labor

Dipl.-Ing. Markus Agerer
http://www.maschinenbau-wissen.de

## 8.2 Abbildungen

1.0.1: krz-Gittertyp..... 3
Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Bravais-Gitter
1.0.2: kfz-Gittertyp..... 3
Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Bravais-Gitter
1.0.3: hdP-Gittertyp..... 3
Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Hexagonales_Kristallsystem
2.6.1: Zustandsdiagramm mit vollständiger Löslichkeit..... 5
Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Legierung
2.7.1: Zustandsdiagramm mit vollständiger Unlöslichkeit..... 5
Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Legierung
2.8.1: Zustandsdiagramm mit teilweiser Löslichkeit..... 6
Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Legierung
2.9.1: Eisen-Kohlenstoff-Phasendiagramm..... 6
Quelle: http://www.maschinenbau-wissen.de/skript/werkstofftechnik/stahl-eisen/
23-eisen-kohlenstoff-diagramm
3.2.1: Auflichtmikroskop..... 8
Quelle: TU Darmstadt, Physikalische Metallkunde
3.3.1: C45, Perlit & Ferrit (10µm)..... 8
Quelle: FH-Kaiserslautern, Prof. Dr.-Ing. J.E. Hoffmann
3.3.2: S235, Ferrit+Perlit (10µm)..... 8
Quelle: FH-Kaiserslautern, Prof. Dr.-Ing. J.E. Hoffmann
3.3.3: Protokoll der Gefügeanalyse..... 9