

# PRÄPARATIONSHILFE GUSSEISEN

## EINFÜHRUNG

Gusseisen ist eine Legierung aus Eisen und Kohlenstoff mit einem Kohlenstoffgehalt zwischen 2,1 und 6,67%. Diese Legierungen bieten eine gute Gießbarkeit und weisen nach dem Erstarren eine geringe Schrumpfung auf.

### EISEN

Symbol: Fe

Ordnungszahl: 26

Dichte: 7,8

Molare Masse: 55,8 g.mol<sup>-1</sup>

Schmelzpunkt: 1538 °C

### KOHLENSTOFF

Symbol: C

Ordnungszahl: 6

Dichte: 2,1 - 2,3 (Graphit)

Molare Masse: 12 g.mol<sup>-1</sup>

## GUSSEISEN

Die Herstellung von Gusseisen beginnt mit Eisenerz, das zusammen mit Koks (Kohlenstoff) in einen Hochofen eingespeist wird. Das Eisen wird durch Reduktion aus dem Erz gewonnen. Dieses Eisen wird «Roheisen» genannt. Es kann unverändert für bestimmte Anwendungen oder zur Herstellung von Stahl verwendet werden.

Es gibt ein zweites Verfahren zur Herstellung von Gusseisen: aus Stahlschrott und Koks.

Es gibt verschiedene Verfahren: Kuppelofen, Elektroofen oder Drehrohrföfen.

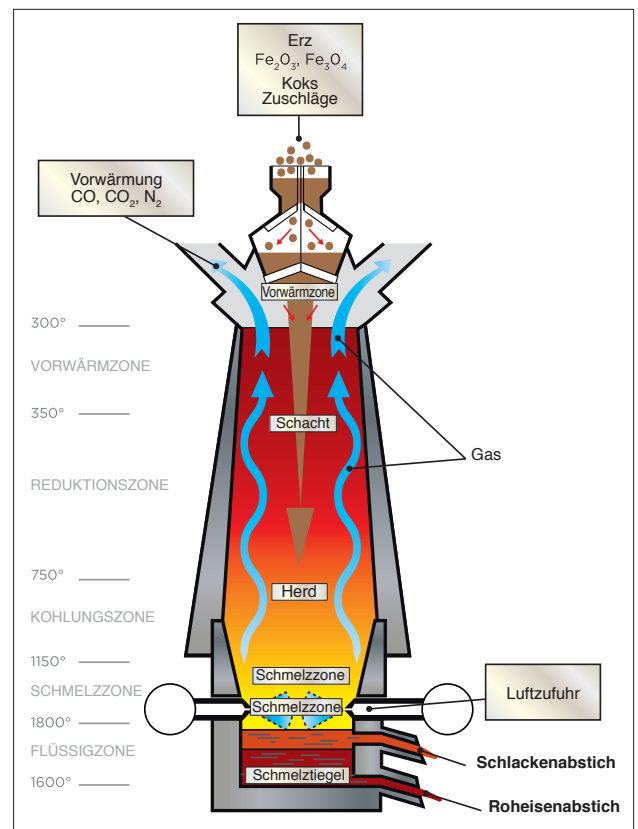


Abb. 1: Diagramm eines Hochofens

Es ist möglich, Gusseisen nach seinem prozentualen Kohlenstoffgehalt zu unterscheiden:

- Untereutektisch - Gusseisen mit weniger als 4,3% Kohlenstoff
- Eutektisch - Gusseisen mit 4,3% Kohlenstoff
- Übereutektisch - Gusseisen mit mehr als 4,3% Kohlenstoff

Das Fe-C-Phasendiagramm (Abbildung 2) hilft bei der Erklärung der Verfestigung aus dem flüssigen Zustand.

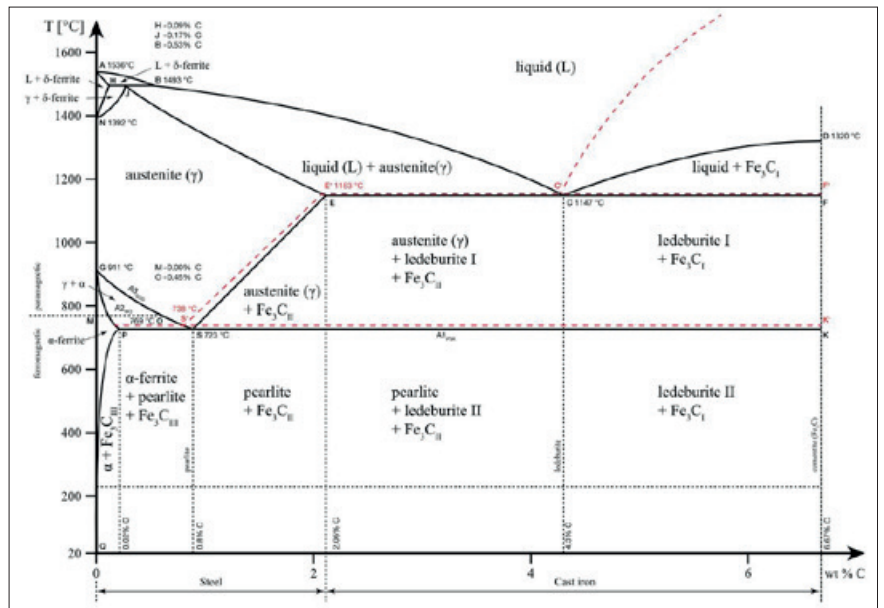


Abb. 2: Fe-C-Diagramm

## DIE HAUPTGUSSEISEN

Im Allgemeinen werden Gusseisen in zwei Hauptfamilien eingeteilt:

### WEISSE GUSSEISEN

Der Kohlenstoff liegt in Form von Fe<sub>3</sub>C-Carbid mit einer perlitischen Matrix vor. Sein Name kommt von der Tatsache, dass es, wenn es gebrochen ist, ein glänzend weißes metallisches Aussehen hat. Weißes Gusseisen ist ein mit Mangan legiertes Gusseisen. Die Legierungselemente Chrom und Molybdän begünstigen auch die Entstehung von weißem Gusseisen.

Diese Art von Gusseisen ist verschleißfest, aber stoßempfindlich.

### GRAUGUSS

Kohlenstoff erscheint in Form von **(kugelförmigem oder lamellarem)** Graphit. Diese Gusseisen sind reich an Silizium; Diese Legierungszugabe begünstigt die Bildung von Graphit. Es verbessert auch die Korrosionsbeständigkeit.

=> Gusseisen aus Lamellengraphit ist aufgrund der Geometrie des Graphits, die eine Kerbwirkung hat, spröde. Die Zugfestigkeit ist nicht optimal, es eignet sich jedoch für Druckarbeiten oder wenn Verschleißfestigkeit erforderlich ist.

=> Sphäroides Graphitgusseisen sind Gusseisen, bei denen die Abkühlung verlangsamt wurde, so dass der Kohlenstoff in Form einer Kugel kristallisiert. Die Geometrie des Graphits verbessert die Bearbeitbarkeit und die mechanischen Eigenschaften liegen nahe an denen von Stahl. Es entsteht ein duktiles, formbares Gusseisen. Die Zugabe von Magnesium zum Gusseisen verringert das Vorhandensein von Schwefel. Somit wird der Graphit kugelförmig und nicht in Lamellen gebildet. Bei einer Wärmebehandlung kann aus weißem Gusseisen kugelförmiges Graphitgusseisen hergestellt werden.

In legierten Gusseisen erhöht:

- Chrom die mechanischen Eigenschaften
- Molybdän verbessert die Schlagfestigkeit
- Phosphor verleiht dem Gusseisen eine bessere Gießbarkeit.

Die chemische Zusammensetzung des Gemisches ist einer der Parameter, die die Art des erhaltenen Gusseisens bestimmen.

## Die Abkühlgeschwindigkeit beeinflusst die Bildung des einen oder anderen Gusseisens.

- Wenn das Abkühlen schnell ist, begünstigt es die Bildung von Zementit, wodurch ein weißes Gusseisen entsteht.
- Wenn die Abkühlung jedoch langsamer ist, hat der Kohlenstoff Zeit zu diffundieren (sich als Graphit zu sammeln), wodurch Grauguss entsteht.

## GUSSEISENBEZEICHNUNGEN

Gusseisen haben eine standardisierte Bezeichnung gemäß DIN EN 1560.

Ihre Bezeichnung beginnt immer mit EN-GJ (G entspricht einem Metallguss und J für Eisen).

Ein weiterer Buchstabe, der der Struktur des Graphits entspricht, folgt diesem Beginn der Bezeichnung:

- L** für Lamellar
- S** für Sphäroide
- M** für geglühten Graphit (formbar)
- V** für Vermikular
- Y** für spezielle Struktur
- N** für keinen Graphit

Im Allgemeinen folgt entweder die erforderliche Mindestzugfestigkeit und Mindestdehnung in% oder die gleiche Bezeichnung wie bei einem hochlegierten Stahl.

Zwei Beispiele:

EN-GJS-400-15: Lamellengraphit-Gusseisen, Festigkeit R min 400 MPa und Dehnung A 15%.

EN-GJN-X 300 Cr Ni Si 9-5-2: Graphitfreies Gusseisen (weißes Gusseisen) mit 3% Kohlenstoff, 9% Chrom, 5% Nickel und 2% Silizium

=> Es sind in eine Vielzahl von Gusseisensorten erhältlich, um alle Anwendungen gemäß den Eigenschaften Schlagfestigkeit, Verschleißfestigkeit und gute Gießbarkeit zu erfüllen.

## ANWENDUNGEN

Gusseisen werden in der Regel für massive Gegenstände verwendet: zum Beispiel Kanalschächte, Öfen, Autoteile ...



## METALLOGRAPHISCHE PRÄPARATION

Um eine hervorragende Inspektionsfläche zu erhalten, sind verschiedene Schritte im Präparationsvorgang erforderlich, von denen jeder, unabhängig vom Material, genauso wichtig ist, wie der nächste. Diese Schritte haben folgende Reihenfolge:

- Das Aufschneiden des zu untersuchenden Produkts (falls erforderlich), genannt «TRENNEN».
- Standardisierung der Geometrie der entnommenen Probe (falls erforderlich), genannt «EINBETTEN».
- Verbesserung des Oberflächenzustands dieser Probe, genannt «SCHLEIFEN & POLIEREN».
- Charakterisierung der Probe: Sichtbarmachung der Mikrostruktur der Probe durch ein Ätzreagenz (falls erforderlich) namens «ÄTZEN» und mikroskopische Untersuchungen (optisch oder elektronisch).

=> Jeder dieser Schritte muss sorgfältig ausgeführt werden, da sonst die nachfolgenden Schritte nicht ordnungsgemäß erfolgen können.

### TRENNEN

Der Zweck des Trennens besteht darin, einen genauen Abschnitt eines Produkts zu entfernen, um eine geeignete Oberfläche für die Inspektion frei zu legen, ohne die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Metalls zu verändern.

Mit anderen Worten ist es wichtig, eine Erwärmung oder Verformung des Metalls zu vermeiden, die zu einer Gefüge-Veränderung oder einer Kaltverfestigung führen könnte. Das Trennen ist ein grundlegender Schritt, der die weitere Präparation und Inspektion von Teilen voraussetzt.

Das breite Angebot von PRESI an Trenn- und Präzisionstrennmaschinen mit mittlerer und großer Trenn-Kapazität kann an alle Anforderungen hinsichtlich Schnittgenauigkeit, Dimensionierung oder Menge der zu schneidenden Produkte angepasst werden:



Abb. 3: MECATOME T202



Abb. 4: MECATOME T330

Jede Trennmaschine und Drahtsäge ist mit den entsprechenden Verbrauchsmaterialien und Zubehörtteilen ausgestattet. Das Spannsystem und die Auswahl dieser Verbrauchsmaterialien sind immer wesentliche Elemente für den Erfolg eines metallografischen Schnitts.

=> Das Spannen, d. h. das Fixieren des Werkstücks, ist wesentlich. Wenn das Werkstück nicht richtig gehalten wird, kann sich der Schnitt nachteilig auf die Trennscheibe, das Werkstück und die Maschine auswirken.

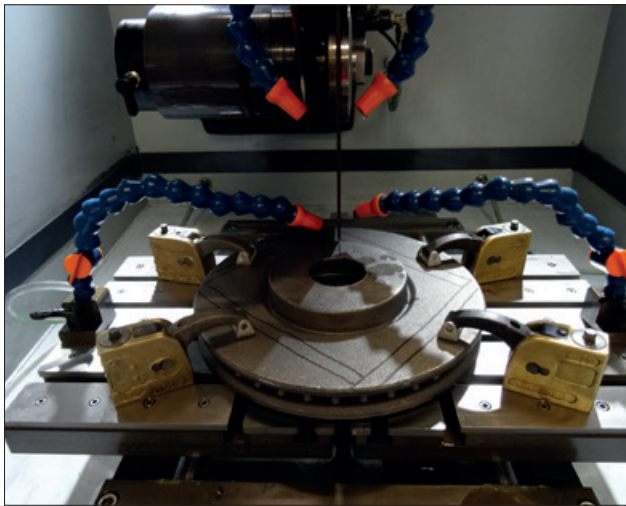


Abb. 5: Bremsscheibe - EVO 400

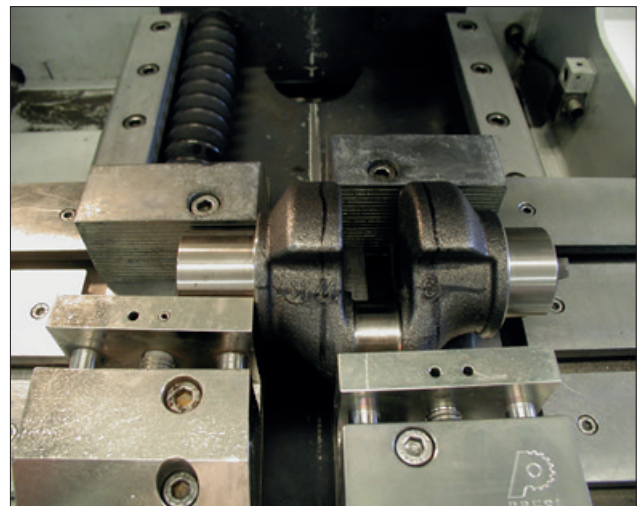


Abb. 6: Kurbelwelle - Mecatome T330

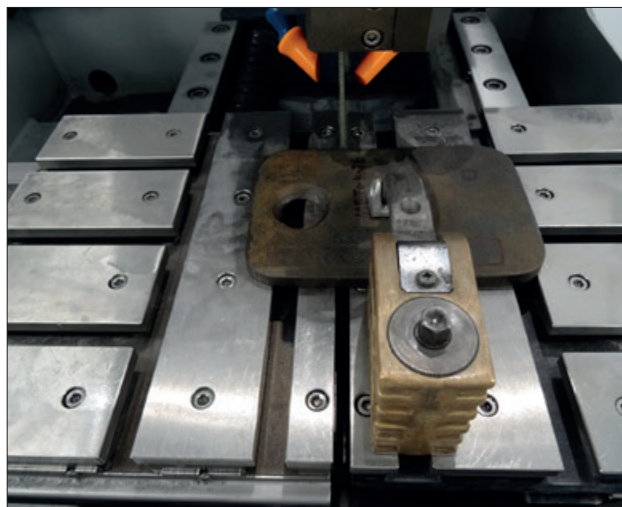
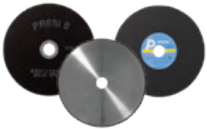


Abb. 7: Gusseisenplatte – Mecatome ST310

## VERBRAUCHSMATERIAL

Alle Trennmaschinen werden mit einer Schmier- / Kühlflüssigkeit verwendet, die eine Mischung aus Wasser und Rostschutzadditiv ist, um einen sauberen Schnitt ohne Überhitzung zu erzielen. Das Additiv schützt auch die Probe und die Maschine vor Korrosion.



	GRAUGUSS	WEISSES GUSSEISEN
Präzisionstrennen	S (Ø 180mm) UTW	S (Ø 180mm) AO CBN
Trennen mittelgroßer Proben	F MNF AO	F AO CBN
Trennen großer Proben	MNF AO	AO

Table 1: Auswahl der richtigen Trennscheibe

=> Die Wahl der Trennscheibe ist entscheidend, um einen übermäßigen Verschleiß oder sogar den Bruch der Trennscheibe zu vermeiden. Die Härte des Werkstücks bestimmt die Trennscheibenauswahl.

## EINBETTEN

Proben können aufgrund ihrer komplexen Form, Zerbrechlichkeit oder geringen Größe schwierig zu handhaben sein. Durch die Einbettung sind sie einfacher zu handhaben, indem ihre Geometrie und Abmessungen standardisiert werden. Das Erreichen einer qualitativ hochwertigen Einbettung ist wichtig, um zerbrechliche Materialien zu schützen und gute Präparationsergebnisse für das Polieren und zukünftige Analysen zu erzielen.

Vor der Einbettung sollte die Probe gesäubert werden und Schneidgrate sind zu entfernen. Eine Reinigung mit Ethanol und in einem Ultraschallbad ist ebenfalls möglich. Dies ermöglicht es dem Harz, so gut wie möglich an der Probe zu haften und reduziert somit die Schrumpfung (Raum zwischen dem Harz und der Probe).

Wenn eine Schrumpfung vorherrscht, kann dies zu Problemen beim Polieren führen. Schleifkörner können sich in diesem Raum festsetzen und zu einem späteren Zeitpunkt freigesetzt werden, wodurch die Gefahr von Kratzern auf der Probe und der Polierfläche besteht. In diesem Fall wird empfohlen, zwischen den einzelnen Schritten die Probe in ein Ultraschallgerät zu legen.

Es gibt zwei Einbettmöglichkeiten:

- **DIE WARMEINBETTUNG** wird bevorzugt verwendet für Kanteninspektionszwecke oder nach der metallografischen Präparation zur Vorbereitung für eine Härteprüfung. **Diese Option erfordert eine Warmeinbettmaschine/ -presse.**



Abb. 8: MECAPRESS 3

Die für die Warmeinbettung erforderliche Maschine ist die Mecapress 3:

- Vollautomatische Warmeinbettpresse.
- Einfach zu bedienen.
- Ihr Speicher, Ihre Prozessanpassung und ihre Ausführungsgeschwindigkeit machen Sie zu einer hochpräzisen Maschine.
- Die Warmeinbettmaschine hat 6 verschiedene Formdurchmesser von 25.4-50 mm.

### PLUSPUNKT

Einer der Hauptvorteile dieses Verfahrens besteht darin, dass es perfekt parallele Flächen bietet.

- **KALTEINBETTUNG** ist zu bevorzugen:
- Wenn die zu untersuchenden Teile zerbrechlich / druckempfindlich sind
- Wenn sie eine komplexe Geometrie haben, z. B. eine Wabenstruktur.
- Wenn eine große Anzahl von Teilen in Serie eingebettet werden soll.

Das Kalteinbettverfahren kann angewendet werden mit:



Abbildung 9: Druckmontagevorrichtung



Abbildung 10: Vakuummontagevorrichtung: POLY'VAC

### PLUSPUNKT

Verbessert die Qualität erheblich, insbesondere durch Reduzierung des Schrumpfs, Optimierung der Transparenz und Erleichterung der Einbettimprägnierung.

### PLUSPUNKT

Maschine zur Vakuumimprägnierung poröser Materialien mit einem Epoxidharz.

Kalteinbettmittel bieten aufgrund der Kapillaraszension des flüssigen Harzes nicht immer eine plane Fläche auf der Rückseite. Vor dem ersten Schleifschritt wird diese konkave Oberfläche (Meniskus) durch einen kurzen Schleifschritt mit Schleifpapier entfernt. Wichtig ist, dass bei diesem Vorgang die beiden Seiten der Einbettung parallel sind.

## VERBRAUCHSMATERIAL

Um den Anforderungen der Benutzer gerecht zu werden, bietet PRESI eine ganze Reihe von Kalteinbettformen an. Das Kalteinbettverfahren hat verschiedene Einbettformen mit diversen Durchmessern von Ø 20 - 50 mm. Diese sind in verschiedene Typen unterteilt: optimierte Formen mit der Bezeichnung «KM2.0», Gummi-, Teflon- oder Polyethylenformen. Die Kalteinbettung ist auch flexibler als die Warmeinbettung, weil es unterschiedliche Einbettformen für spezifische Anforderungen gibt.


	<b>WEISSES UND GRAUES EISEN</b>
<b>Warmeinbettprozess</b>	Phenol Allyl Epoxid
<b>Kalteinbettprozess</b>	KM-B KM-U

Table 2: Auswahl des richtigen Einbettmittels

## SCHLEIFEN UND POLIEREN

Die letzte und entscheidende Phase in der Probenpräparation ist das Schleifen und Polieren. Das Prinzip ist einfach, jeder Schritt verwendet ein feineres Schleifmittel als der vorherige. Ziel ist es, eine plane Oberfläche zu erhalten ohne Kratzer und ohne Artefakte, die die Durchführung metallographischer Kontrolluntersuchungen, wie mikroskopische Analysen, Härteprüfungen, Mikrostrukturanalysen oder Messungen, beeinträchtigen würden.

PRESI bietet eine breite Palette an manuellen und automatischen Schleif- und Poliermaschinen mit einer großen Auswahl an Zubehör für alle Anforderungen, vom Schleifen bis zum Superfinish und Polieren von Einzel- oder Serienproben an.

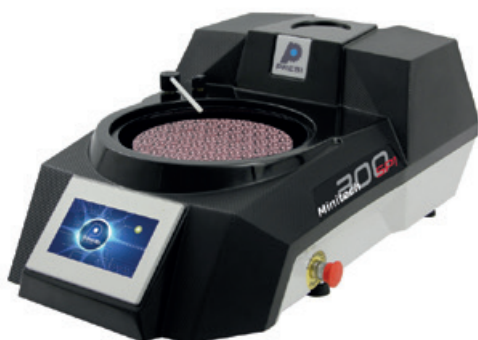


Abb. 11: MINITECH 300 SPI



Abb. 12: MECATECH 300 SPC

**Die MINITECH-Reihe von manuellen Schleif- und Poliermaschinen** umfasst die fortschrittlichsten Technologien. Sie sind benutzerfreundlich, zuverlässig und robust und bieten eine einfache Antwort auf alle Anforderungen.

**Die MECATECH-Reihe von automatischen Schleif- und Poliermaschinen** ermöglicht es sowohl manuell als auch automatisch zu Schleifen und zu Polieren. Mit seinen fortschrittlichen Technologien und einer Motorleistung von 750 bis 1500 W konzentriert sich die gesamte Erfahrung von PRESI auf dieses sehr vollständiges Sortiment. Unabhängig von Probenanzahl oder -größe garantiert die MECATECH ein optimales Schleif- oder Polierergebnis.

### VERBRAUCHSMATERIAL UND POLIERANLEITUNGEN

Alle folgenden Schleif- und Polierprozesse sind für die automatische Probenpräparation angegeben (für das manuelle Schleifen und Polieren: Berücksichtigen Sie nicht die Kopf-Parameter). Die Präparationsprozesse dienen zur Information und Beratung.

Alle ersten Schritte jeder Schleif- und Polieranleitung werden als «Nivellieren» bezeichnet und bestehen darin, Material schnell zu entfernen, um die Oberfläche der Probe (und des Einbettmittels) zu planieren. Die unten angegebenen Parameter sind standardisiert und können daher nach Bedarf geändert werden.

Der Probenandruck variiert je nach Probengröße, im Allgemeinen gilt jedoch Folgendes: 1 daN pro 10 mm Einbettdurchmesser für die Schleifschritte (z. B. Ø 40 mm = 4 daN), dann die Kraft bei jedem Polierschritt mit einer Schleifsuspension um 0,5 daN reduzieren.

Das Folgende ist ein allgemeiner Polierprozess für **Gusseisen**:

N°	Verbrauchsmaterial	Suspension / Lubrikant	Arbeitsplatte (U/min)	Kopf (U/min)	Rotationsrichtung von Arbeitsplatte / Kopf	Zeit (mm)
1	P320	Ø / Wasser	300	150	→ →	1'
2	TOP	9µm ADS poly / Lub ADS	150	135	→ →	4'
3	STA	3µm ADS poly / Lub ADS	150	135	→ →	3'
4	TFR	1µm ADS poly / Lub ADS	150	135	→ →	1'

Hinweis: Die Nivellierung mit P320-Schleifpapier ist für eine Probe aus einem metallografischen Schnitt ausreichend. Wenn mehr Material entfernt werden muss, sollte eine größere Körnung verwendet werden.

Beim Schleifen sollte die Drehrichtung von Kopf und Platte nicht umgekehrt werden, da dies die Ebenheit nachteilig beeinflussen kann. Das Umkehren der Drehrichtung kann jedoch hilfreich sein, wenn eine große Menge Material entfernt werden muss.

Das Polieren von Gusseisen kann mit einer monokristallinen Diamantsuspension (auf Alkoholbasis, wasserfrei) durchgeführt werden. Dies verhindert die Oxidation des Gusseisens, das beim Fertigpolieren wasserempfindlich ist.

Bei der Reinigung zwischen den Stufen wird eine schnelle Trocknung mit Druckluft nach der Reinigung mit Wasser oder eine Reinigung mit Ethanol empfohlen, um das Auftreten von Korrosionspunkten zu begrenzen.

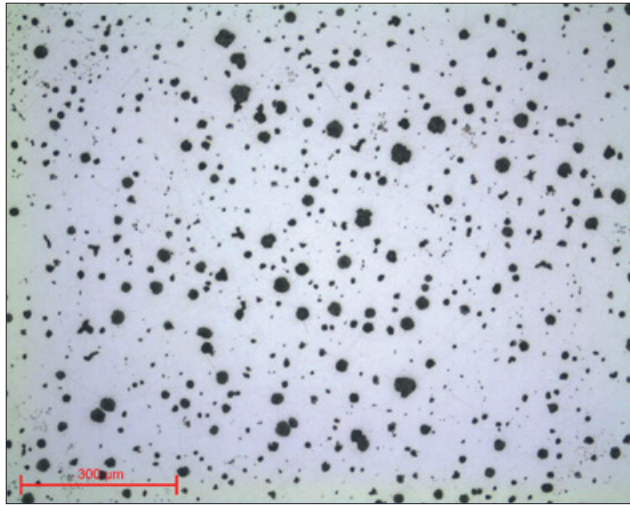


Abb. 13: Gusseisen GJS - Objektiv x10

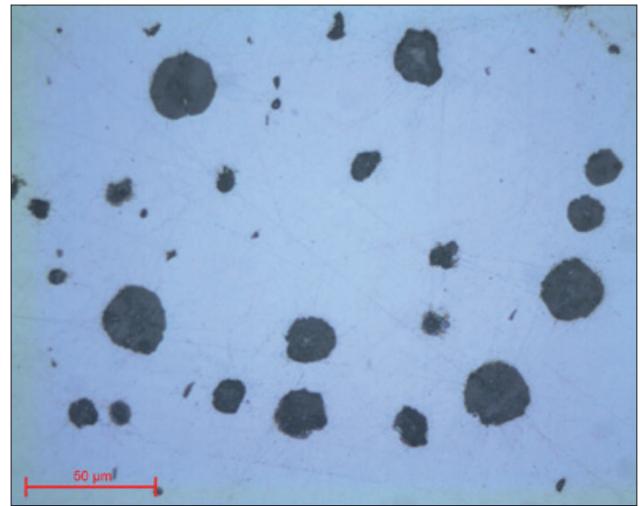


Abb. 14: Gusseisen GJS - Objektiv x50

Alternative zum ersten Polierprozess, um **Gusseisen** zu polieren:

N°	Verbrauchsmaterial	Suspension / Lubrikant	Arbeitsplatte (U/min)	Kopf (U/min)	Rotationsrichtung von Arbeitsplatte / Kopf	Zeit (mm)
1	I-Max R 54µm	Ø / Wasser	300	150	→ →	3'
2	MED-R	9µm super abrasive MED-R	150	135	→ →	4'
3	STA	3µm ADS poly / Lub ADS	150	135	→ →	3'
4	TFR	1µm ADS poly / Lub ADS	150	135	→ →	1'

In diesem zweiten Polierprozess wird das Nivellieren unter Verwendung eines 54µm I-MAXR anstelle von Schleifpapier durchgeführt. Dieser harzgebundene Diamantträger, der zum Polieren harter Materialien geeignet ist, behält eine gute Ebenheit und kann mehrere hundert Schleifpapiere ersetzen.

Die zweite Stufe wird mit einem MED-R-Träger durchgeführt. Dieser Träger aus Harzkissen, denen eine super abrasive Suspension für MED-R hinzugefügt wird, behält eine gute Ebenheit bei und bietet eine längere Lebensdauer als ein Poliertuch.

Die Endbearbeitungsschritte werden unter Verwendung einer ADS-Suspension durchgeführt. Eine konzentrierte polykristalline LDP-Suspension kann manchmal geeignet sein, wenn das Gusseisen nicht oder nur geringfügig korrodiert.

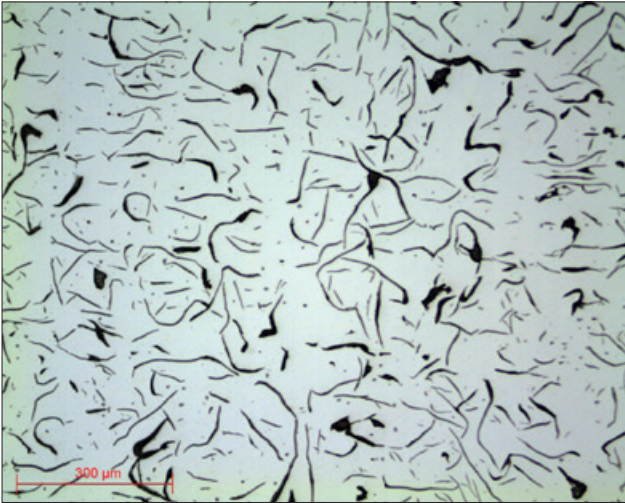


Abb. 15: Gusseisen GJL - Objektiv x10



Abb. 16: Gusseisen GJL - Objektiv x50

## MIKROSTRUKTUR

Die Struktur der Gusseisen kann mit verschiedenen Ätzreagenzien ermittelt werden:

- Nitalreagenz 4%
- Picrals Reagenz
- Chateliers Reagenz

Die Liste ist nicht vollständig. Da Gusseisenstrukturen, denen von Stahl nahe kommen, sind einige Reagenzien für beiden Materialien geeignet. Alle vorgestellten mikroskopischen Aufnahmen wurden mit der **PRESI VIEW**-Software erstellt:

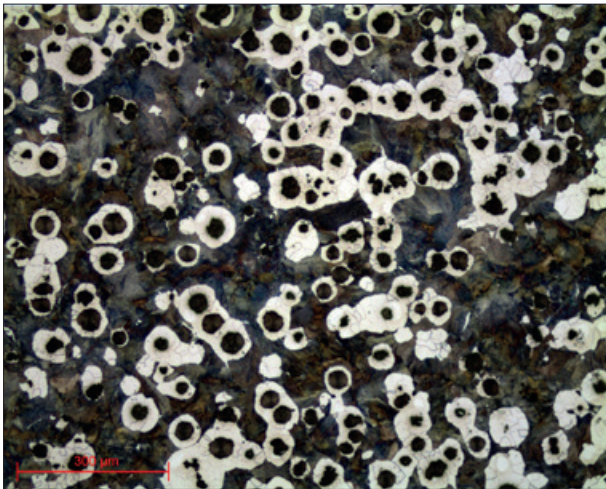


Abb. 17: Gusseisen GJS - Objektiv x10

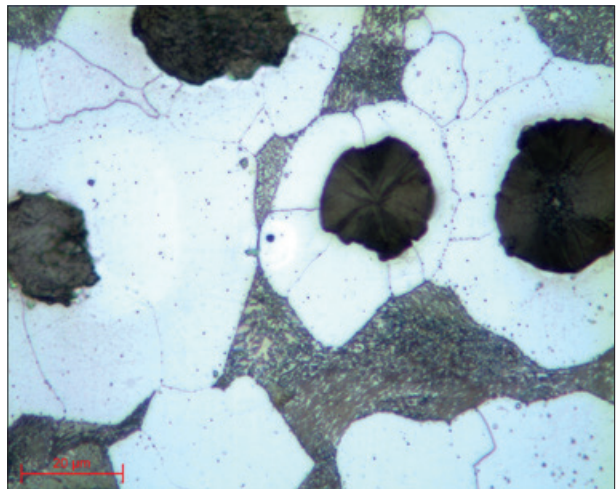


Abb. 18: Gusseisen GJS - Objektiv x100

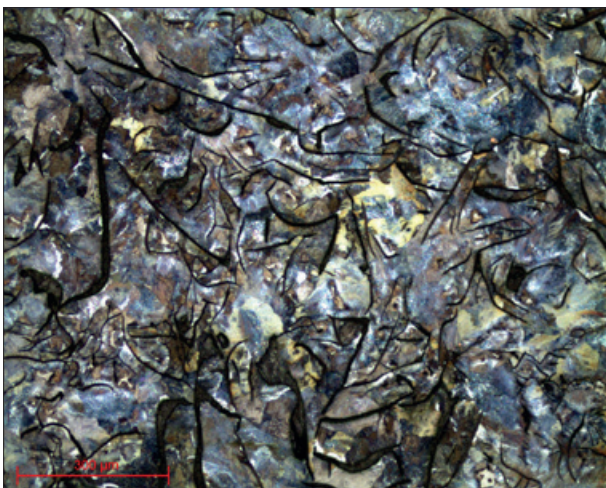


Abb. 19: Gusseisen GJL - im Kern - Objektiv x10

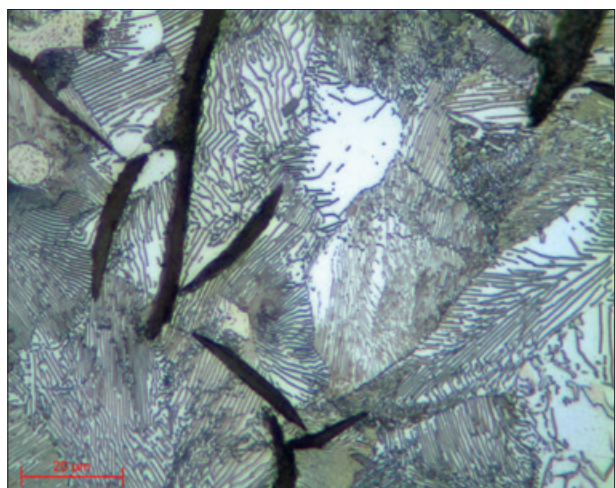


Abb. 20: Gusseisen GJL - im Kern - Objektiv x100

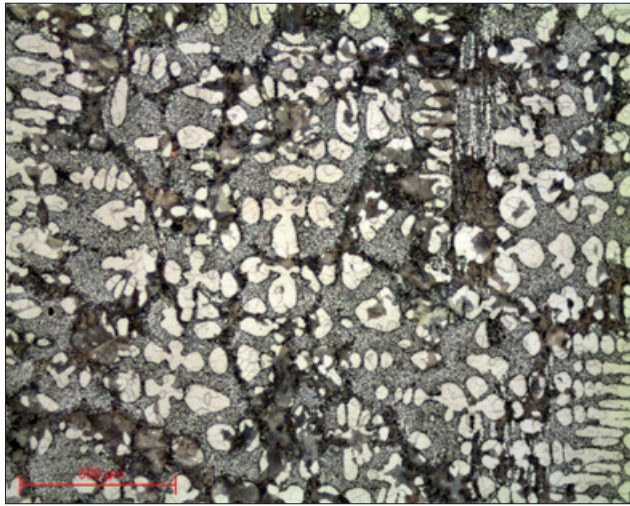


Abb. 21: Gusseisen GJL – am Rand – Objektiv x10

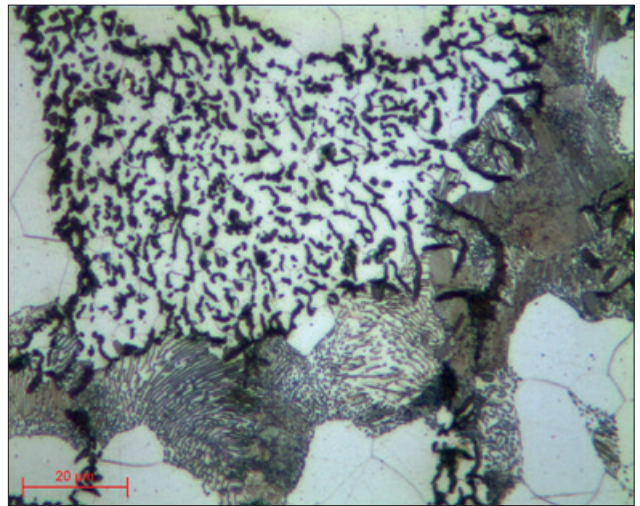


Abb. 22: Gusseisen GJL – am Rand – Objektiv x100

=> Alle in den Abbildungen 17-22 gezeigten Strukturen wurden unter Verwendung von 4% Nital-Reagenz erstellt.