



Michael Aigner, Bsc

**Einfluss ausgewählter Impfmittel auf die Graphitausscheidung
in verschleißfesten Gusseisen-Legierungen**

MASTERARBEIT

Zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Advanced Materials Science

Eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Ing Dr.techn. Christof Sommitsch

Institut für Werkstoffkunde, Fügetechnik und Umformtechnik

Mitwirkende

Dr. Master Coline Béal

Graz, März 2017

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

01. März 2017

Datum

Unterschrift

Kurzfassung

Arbeitswalzen für Warmbreitbandstraßen werden je nach Kundenanforderungen aus verschiedenen Werkstoffen hergestellt. In dieser Arbeit werden die Einflüsse unterschiedlicher Impfmittel auf verschleißfeste ICDP-Legierungen (ICDP = Indefinite-Chill-Double-Pour) untersucht. Diese Legierungen werden zunehmend stärker legiert, steigende Karbid- und sinkende Graphitanteile sind die Folge. Der Graphitgehalt in diesen Legierungen ist für die Materialeigenschaften und damit für den Einsatz im Walzwerk von besonderer Bedeutung.

Es wurden verschiedene Impfmitteltypen in Versuchsschmelzen getestet. Der Graphitanteil, die Graphitmorphologie und die Anzahl an Graphitpartikeln wurden mittels lichtmikroskopischer Analyse ermittelt. Impfmittel mit einer Kombination aus Aluminium, Kalzium und Barium zeigten in der durchgeführten Arbeit die beste Wirkung. Impfmittel mit Anteilen an seltenen Erden führten bei übermäßiger Verwendung zur Unterdrückung der Graphitausscheidung, wohingegen die Form des Graphits mit zirkonhaltigen Impfmitteln beeinflusst werden kann.

Abstract

Work rolls for hot strip mills consist of various materials among others the wear-resistant ICDP alloys (ICDP = Indefinite-Chill-Double-Pour) to comply with customer requirements. New alloying concepts with increased amount of carbide forming elements are developed for these applications. However, these carbide forming elements lead to a reduction of graphite precipitation, detrimental for the desired properties. In this thesis the influence of different inoculants and their constituents on graphite precipitation in wear-resistant ICDP alloys were investigated. The graphite content, the graphite morphology and the number of graphite particles in the resulting alloys were determined by light optical microscopy. The results showed that inoculants with a combination of aluminum, calcium and barium gave the best results. Inoculants with an excessive use of rare earths lead to the suppression of graphite precipitation, while the shape of the graphite could be influenced by zirconium-containing inoculants.

Danksagung

Vorweg möchte ich mich beim Eisenwerk Sulzau-Werfen, R. & E. Weinberger AG in Tenneck, insbesondere bei der Unternehmensleitung und Geschäftsführung, für die Möglichkeit zur Durchführung dieser Arbeit bedanken.

Bedanken möchte ich mich,

- bei Herrn Dipl.-Ing MBA *Elizondo Leonel* und Herrn Dipl.-Ing. *Michael Brandner* für die hervorragende Zusammenarbeit und für den wissenschaftlichen Input.
- bei den Herren *Armin Paar, MSc* und Dipl.-Ing. *Thomas Trickl* für die zahlreichen Anregungen, das gemeinsame Analysieren und das Korrekturlesen dieser Arbeit.
- beim gesamten Laborteam (*Martina Fischbacher, Johannes Wimmer, Thomas Köngeter, Thomas Schlager, Erwin Mitterlechner und Christoph Handler*) für die tatkräftige Unterstützung bei der Analyse der Proben, die Hilfsbereitschaft und das angenehme Arbeitsklima.
- bei meiner Betreuerin seitens der Technischen Universität Graz Frau Dr. Master *Coline Béal* und Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing Dr.techn. *Christof Sommitsch*.

Besonderer Dank gebührt Herrn *Robert Moltinger*, der mit mir die gesamten praktischen Versuche durchgeführt hat und dadurch auch viele (sehr viele) Stunden mit mir vorm Schmelzofen verbracht hat. Bedanken möchte ich mich bei ihm auch für die Konstruktion sämtlicher Grafiken, die diese Arbeit vervollständigen und bereichern.

Inhalt

1	Einleitung	8
2	Grundlagen	9
2.1	Schematischer Aufbau einer Warmbreitbandstraße.....	9
2.1.1	Arbeitswalzen	9
2.2	Herstellverfahren von Arbeitswalzen	10
2.3	Merkmale unterschiedlicher Gusseisen	11
2.3.1	Grundlegendes zur Erstarrung von Gusseisen.....	11
2.3.2	Einfluss verschiedener Legierungselemente	12
2.3.3	Indefinite-Chill-Legierungen.....	14
2.4	Erstarrung und Gefügeausbildung.....	14
2.5	Impfen.....	15
2.6	Graphitkeimbildungstheorien für Gusseisenschmelzen	16
2.6.1	Sulfidkeimtheorie	16
2.6.2	Oxidkeimtheorie	17
2.6.3	Graphitkeimtheorie	17
2.6.4	SiC-Keimtheorie	18
2.6.5	Impfverfahren.....	19
2.6.6	Vorkonditionierung.....	19
2.6.7	Pfannenimpfung bzw. Gießstrahlimpfung	19
2.6.8	Formimpfung.....	19
2.6.9	Zwischenimpfung.....	20
2.7	Aufbau von Impflegierungen	20
3	Durchgeführte Versuche.....	22
3.1	Planung der Gussversuche.....	22
3.1.1	Serie 1: Screening	22
3.1.2	Serie 2: Bestätigung/Reproduzierbarkeit.....	23
3.1.3	Serie 3: Kombinationen.....	23
3.2	Versuchsbedingungen	25
3.2.1	Versuchsdurchführung.....	26
3.2.2	Stegprobenform	27
3.2.3	Bestimmung der Liquidustemperatur mittels thermischer Analyse.....	28

3.2.4	Überprüfung der chemischen Zusammensetzung.....	29
3.2.5	Graphitmessung mittels Lichtmikroskop	30
3.2.6	Probenvorbereitung.....	32
4	Ergebnisse	33
4.1	Serie 1: Screening	33
4.1.1	Ausgangssituation (Nr. 0-3).....	33
4.1.2	Einzelne Elemente (Nr. 3-5).....	35
4.1.3	Aluminium und Kalzium (Nr. 6-8)	36
4.1.4	Aluminium, Kalzium und Barium (Nr. 9-11)	38
4.1.5	Aluminium, Kalzium und seltene Erden (Nr. 12-13)	40
4.1.6	Aluminium, Kalzium, Strontium und Zirkon (Nr. 14-17).....	41
4.1.7	Sondervarianten (Nr. 18-20).....	43
4.2	Rasterelektronenmikroskopische Analyse.....	45
4.2.1	0,2 Mass.-% FeZr (Nr. 5)	45
4.2.2	0,7 Mass.-% FeZr (Nr. 5)	46
4.2.3	0,2 Mass.-%TTNoC T08 (Nr. 13)	46
4.2.4	0,7 Mass.-%TTNoC T08 (Nr. 13)	47
4.3	Serie 2: Bestätigung/Reproduzierbarkeit.....	49
4.4	Serie 3: Kombinationen	49
5	Diskussion der Ergebnisse.....	51
5.1	Kein Impfmittel (Nr. 0)	51
5.2	0,2% CaSi (Nr. 1)	51
5.3	SB5 (Nr. 2)	51
5.4	Aluminium (Nr. 3)	52
5.5	Seltene Erden (Nr. 4)	52
5.6	Zirkon (Nr.5)	52
5.7	Aluminium und Kalzium (Nr. 6-8)	53
5.8	Aluminium, Kalzium und Barium (Nr.9-11)	53
5.9	Aluminium, Kalzium und seltene Erden (Nr. 12-13)	54
5.10	Aluminium, Kalzium, Strontium und Zirkon (Nr. 14-17)	55
5.11	Sondervarianten (Nr. 18-20)	56
6	Zusammenfassung und Ausblick	58

7	Literaturverzeichnis	59
8	Abbildungsverzeichnis	63
9	Tabellenverzeichnis	64
10	Anhang	65
10.1	Detailergebnisse Serie 2	65
10.2	Detailergebnisse Serie 3	67
10.3	Datenblätter	74

1 Einleitung

Das Eisenwerk Sulzau-Werfen, R. & E. Weinberger AG (ESW) zählt zu den weltweit führenden Walzenerzeugern [1] mit einem großen Sortiment von Walzen in verschiedenen Qualitäten für unterschiedliche Anwendungen. Spezialisiert ist das ESW auf die Produktion von Arbeitswalzen in Warmbandstraßen. Während im Vorgerüst vor allem Chromstahl-Walzen bzw. Semi-HSS-Walzen (HSS = Schnellarbeitsstahl) zum Einsatz kommen, sind in den vorderen Fertiggerüsten Hochchrom- oder HSS-Walzen in Verwendung. Für die hintere Fertigstaffel werden wiederum höchstverschleißfeste, graphithaltige Gusseisen-Legierungen eingesetzt. In dieser Arbeit wird ein spezieller Werkstoff der ICDP-Gruppe (ICDP = Indefinite-Chill-Double-Pour) genauer untersucht und in Hinblick auf den Graphitgehalt näher analysiert.

Bei den ICDP-Legierungen wird aufgrund der hohen Gehalte an karbidbildenden Elementen die Graphitausscheidung stark beeinflusst und zum Teil ganz unterdrückt. Zentrales Element dieser Arbeit ist die Untersuchung verschiedener Impfmittel auf die Graphitausscheidung. Als Impfen versteht man die Zugabe fester Stoffe (Impfmittel) in die Schmelze um die Bildung von Kristallisationskeimen zu unterstützen. Wird der Schmelze vor bzw. während des Abgusses kein Impfmittel zugegeben, wird kaum Graphit ausgeschieden. Typischerweise wird der untersuchte Werkstoff mit 0,2 Mass.-% CaSi (CaSi = Legierung aus Kalzium und Silizium) geimpft und bildet 2 bis 2,5 Fl.-% Graphit aus. Jedoch werden ICDP-Werkstoffe immer höher legiert, was automatisch eine Reduktion des Graphitgehaltes mit sich bringt. Ziel dieser Diplomarbeit ist es, ein Impfmittel oder eine Impfmittelkombination zu finden, die wirtschaftlich einsetzbar ist, deren Legierungselemente die charakteristischen Eigenschaften des Werkstoffs (Härte, Zug- bzw. Biegefestigkeit) nicht negativ beeinflussen und mit dem der Graphitgehalt maximiert wird. Zu diesem Zweck werden im Kapitel 2 die theoretischen Grundlagen vom Aufbau einer Walzstraße bis hin zu den Keimbildungstheorien und den impfwirksamen Elementen aufgearbeitet. In Kapitel 3 werden die Versuchsplanung, die Versuchsdurchführung und die verwendeten Untersuchungsmethoden beschrieben. Die Ergebnisse der verschiedenen Experimente sind in Kapitel 4 zu sehen, die in Kapitel 5 mit Angaben aus Literatur gegenübergestellt und verglichen werden.

2 Grundlagen

In den folgenden Kapiteln werden die Grundlagen vom Aufbau eines Walzwerkes, die Herstellung von Arbeitswalzen, die verwendeten Werkstoffe und die unterschiedlichen Keimbildungstheorien beschrieben.

2.1 Schematischer Aufbau einer Warmbreitbandstraße

Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, wird eine klassische Warmbreitbandstraße in Vorgerüst und Fertigwalzstraße unterteilt. Die Hauptaufgabe des Vorgerüsts ist die Verformung der Rohbramme auf Vorbanddicke für das Fertigerüst [2].

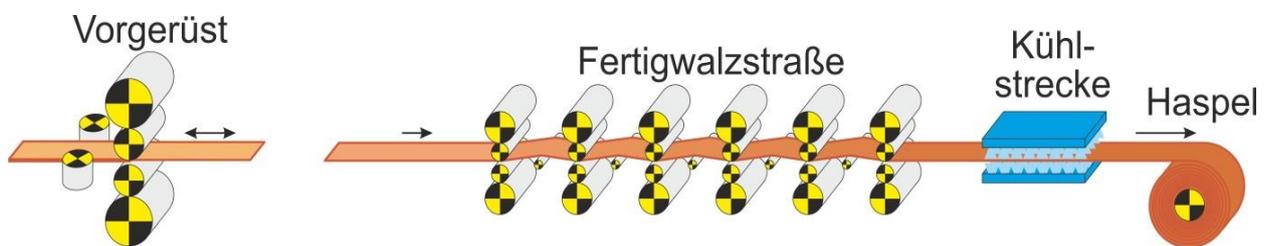


Abbildung 1: Schematischer Aufbau einer Warmbandstraße. [3]

Eine genauere Unterteilung der Fertigwalzstraße erfolgt in vordere Fertigerüste F1-F3(F4) und hintere Fertigerüste (F4)F5-F6(F7) unterschieden. Die Anforderungen an die Arbeitswalzen im Bereich F1 bis F4 unterscheiden sich stark zu den Anforderungen im hinteren Bereich. Insbesondere sind in den hinteren Fertigerüsten unter Normalbedingungen die Walzkräfte, die Torsionsbelastung sowie auch die Wärmebelastung (aufgrund der niedrigeren Bandtemperatur, der geringen Kontaktdauer und der hohen Bandgeschwindigkeit) im Vergleich zum vorderen Teil geringer [4]. Dies bedeutet, dass in den verschiedenen Staffeln unterschiedliche Walzenwerkstoffe zum Einsatz kommen. Im Vorgerüst werden Semi-HSS- und Hochchrom-Werkstoffe, im vorderen Bereich (F1-F4) werden Hochchrom- und HSS-Werkstoffe und in den hinteren Fertigerüsten werden ICDP-Werkstoffe verwendet [2].

2.1.1 Arbeitswalzen

Die geometrische Form der Walze richtet sich einerseits nach der Art des Walzproduktes (Flachprodukte, Profile, Schienen) und andererseits nach dem Gerüstsystem. Die Walzen müssen an die spezifischen Beanspruchungen im Walzwerk angepasst werden. Aus diesem Grund werden Walzen aus unterschiedlichen Werkstoffen, die je nach Einsatzbedingungen dahingehend ausgelegt werden, die Walzleistung zu optimieren, eingesetzt [5]. In Abbildung 2 ist der Aufbau einer Verbundwalze, wie sie im ESW hergestellt wird, zu sehen.

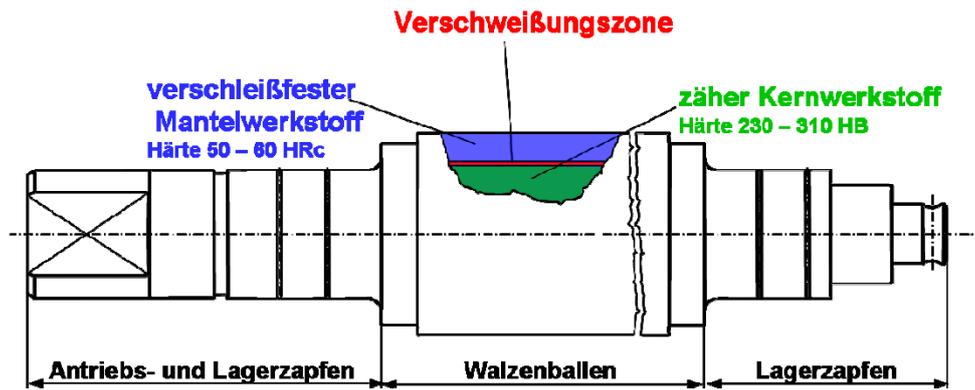


Abbildung 2: Schematischer Aufbau einer Verbundwalze für Flachprodukte. [6]

2.2 Herstellverfahren von Arbeitswalzen

Im Induktionstiegel wird das Einsatzmaterial wie Stahl- und Walzenschrott, Roheisen und Legierungselemente aufgeschmolzen, danach wird im horizontalen Schleuderguss das hochlegierte, flüssige Walzenmanteleisen in eine sich drehende Kokille aus Schmiedestahl eingegossen [1] (Abbildung 1).

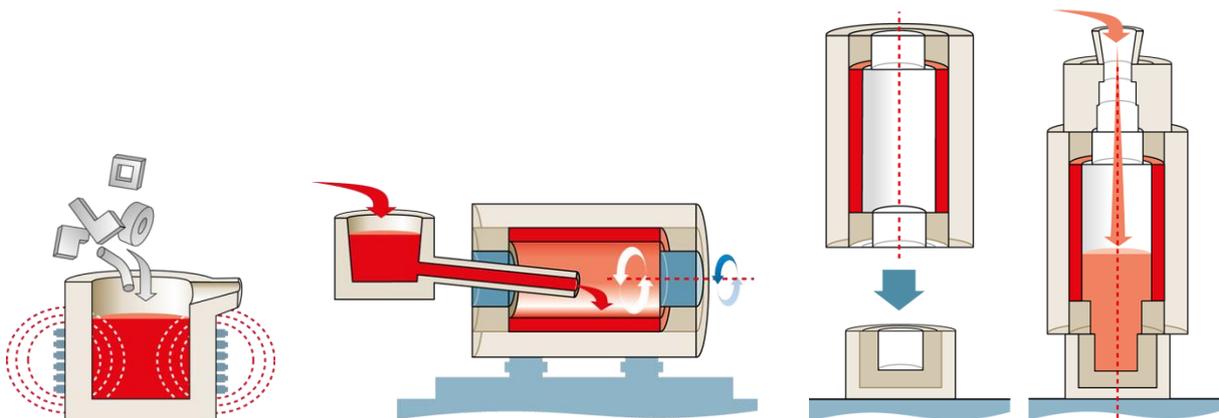


Abbildung 3: Induktionstiegel mit flüssiger Schmelze (links), horizontaler Schleuderguss des Mantels (Mitte), statisches Vergießen des Kerneisens (rechts). [1]

Unmittelbar nach dem Erstarren des Manteleisens wird die Kokille abgebremst, von der Schleudergussmaschine abgehoben und mit den Unter- und Oberzapfenformen verbunden. Anschließend wird die Form mit dem Kerneisen im statischen Gießverfahren von oben fallend gegossen. Der Gießprozess wird dabei unter anderem über Zeit und Temperatur gesteuert, eine genaue Einhaltung des Ablaufs ist für eine optimale Bindung zwischen Mantel und Kern von entscheidender Bedeutung [1]. In der Wärmebehandlung werden dem Halbzeug die geforderten Materialeigenschaften wie Härte, Festigkeit und Eigenspannungszustand je nach Anforderung im Walzwerk verliehen [1]. Ihre endgültige Form und Oberflächengüte erhalten die Walzen in der mechanischen Fertigung auf CNC-Dreh-, Schleif-, Fräs- und Bohrmaschinen. Die mechanische Bearbeitung erfolgt im

Trockenverfahren. Das bedeutet, dass zum Großteil auf Schmier- bzw. Kühlmittel verzichtet wird, damit anfallenden Späne und Zapfenabstiche als Kreislaufmaterial in den Schmelzbetrieb zurückgeführt werden können [1].

2.3 Merkmale unterschiedlicher Gusseisen

Das wichtigste Legierungselement für Gusseisenwerkstoffe ist neben dem Silizium der Kohlenstoff. Grundsätzlich wird zwischen stabiler und metastabiler Erstarrung unterschieden [7, 8, 9, 10].

2.3.1 Grundlegendes zur Erstarrung von Gusseisen

- **Stabile Erstarrung**
Im stabilen System liegt im Gefüge Kohlenstoff ausschließlich als Graphit (C) vor. Das stabile System wird durch langsames Abkühlen der Schmelze und graphitisierende Elemente (Tabelle 1) begünstigt.
- **Metastabile Erstarrung**
Im metastabilen System (Fe-Fe₃C) liegen Eisen und Zementit (Fe₃C) bzw. Eisenkarbid im Gefüge vor. Unter Zementit versteht man eine intermetallische Phase mit einem Kohlenstoffgehalt von 6,67%. Das metastabile System wird durch rasches Abkühlen der Schmelze und karbidbildende Elemente (Tabelle 1) begünstigt.

Die Zusammensetzung der Schmelze (Legierungselemente) und die Abkühlbedingungen beim Erstarren bestimmen demnach die Gefügeausbildung. Das Gefüge hat einen entscheidenden Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffes. Sobald die Erstarrung abgeschlossen und die Probe ausgekühlt ist, kann man unter dem Lichtmikroskop unterschiedliche Phasenkombinationen finden [7, 8, 9, 10].

- **Graues Gusseisen**
Zu einer Ausscheidung des Kohlenstoffs in Form von Graphit kommt es bei sehr langsamer Abkühlung kohlenstoffreicher Schmelzen. Die Erstarrung erfolgt nach dem stabilen System [8]. Der Graphit wiederum kann, wie in Abbildung 4 zu sehen ist, durch seine Form noch weiter in Lamellen-, Vermicular- und Kugelgraphit unterteilt werden.

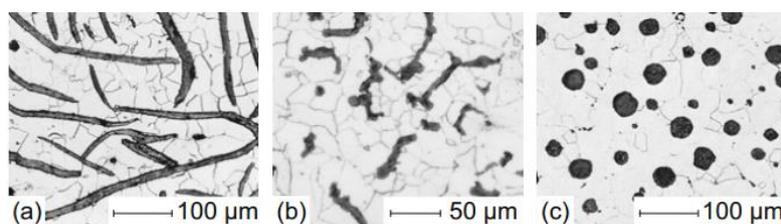


Abbildung 4: Typische Graphitbildung in Gusseisen (a) lamellar (GJL) (b) vermicular (GJV) (c) nodular (GJS). [8]

- Weißes Gusseisen

Bei rascher Abkühlung wird die Diffusion des Kohlenstoffs unterbunden. Dieser wird in Form von Zementit nach dem metastabilen System ausgeschieden. Eine typische Lichtmikroskopie-Aufnahme ist in Abbildung 5 zu sehen.

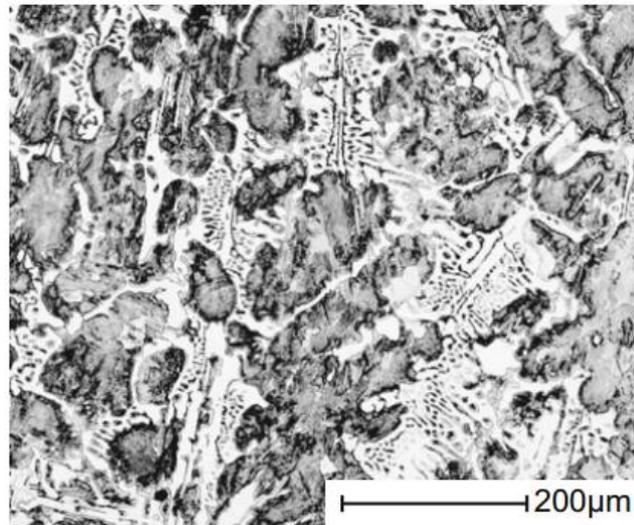


Abbildung 5: Untereutektisches Gusseisen nach weißer Erstarrung (dunkel: Primäraustenit, zu Perlit umgewandelt, hell: Eutektikum aus Zementit (Fe_3C) und eingeschlossenem Perlit. [8])

- Meliertes Gusseisen

Dies ist eine Mischung aus weißem und grauem Gusseisen. Das Gefüge enthält Austenit, Graphit und Zementit (Fe_3C). Die Ausbildung der Mikrostruktur hängt von der Abkühlgeschwindigkeit und dem Kohlenstoff- bzw. Silizium-Gehalt ab.

2.3.2 Einfluss verschiedener Legierungselemente

Je nach Lage im stabilen Eisen-Kohlenstoff-Gleichgewichtsdigramm werden für legierte Gusseisen drei unterschiedliche Fälle der Erstarrung erwartet [11].

1. Bei untereutektischen Schmelzen (Kohlenstoffäquivalent $\text{CE} < 1$, siehe Formel 1) werden bis zum Erreichen der eutektischen Temperatur Primäraustenitdendriten gebildet, danach erstarrt das Eutektikum unter Bildung von Graphit und Austenit.
2. Bei eutektischen Schmelzen ($\text{CE} = 1$) wird eine direkte Ausbildung des Eutektikums aus Graphit und Austenit ohne voreilende Primärphase erwartet.
3. Bei übereutektischen Schmelzen ($\text{CE} > 1$) scheidet sich zuerst Primärgraphit aus. Ab dem Erreichen der eutektischen Temperatur wird das Eutektikum aus Graphit und Austenit gebildet.

$$\text{CE} = \% \text{C}_{\text{gesamt}} + \frac{1}{3} (\% \text{Si} + \% \text{P}) \quad (1)$$

In Abbildung 6 sind die drei Bereiche (untereutektischer Bereich links von Punkt C bzw. C', eutektischer Punkt C bzw. C' und übereutektischer Bereich rechts von Punkt C bzw. C') graphisch dargestellt.

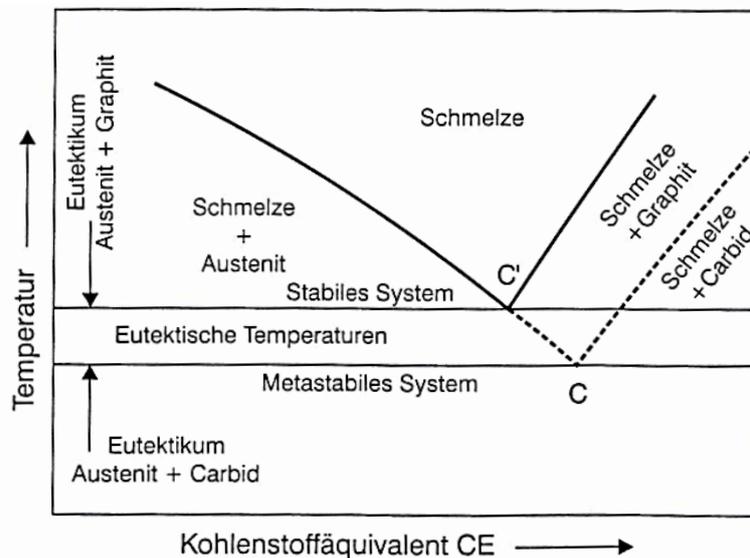


Abbildung 6: Lage der eutektischen Punkte und Temperaturen im stabilen und metastabilen System Fe-C. [11]

Da die Gleichgewichtsbedingungen bei realen Gussteilen durch den Einfluss verschiedenster Faktoren (Seigerungen, Abkühlgeschwindigkeit, usw.) in der Regel nicht vorliegen, verschiebt sich der eutektische Punkt zu höheren Kohlenstoffäquivalenten. Wie erwähnt, können im Gusseisen verschiedene Legierungselemente enthalten sein. Diese werden in sogenannte graphitisierende Elemente, welche die Graphitbildung fördern, sowie karbidstabilisierende Elemente eingeteilt. Neben dem Einfluss auf die Art der Kohlenstoffbindung haben diese Elemente auch Auswirkung auf die Lage des eutektischen Punktes im Eisen-Kohlenstoffdiagramm. Eine Auflistung der wichtigsten Elemente ist in Tabelle 1 zu sehen [10, 12, 13, 14].

Tabelle 1: Graphitisierende und karbidstabilisierende Elemente [10, 12, 13, 14].

graphitisierende Elemente	karbidstabilisierende Elemente
Silizium	Vanadium
Aluminium	Chrom
Nickel	Hafnium
Kalzium	Molybdän
Barium	Niob
Strontium	Tantal
Phosphor	Wolfram
Kupfer	Titan

2.3.3 Indefinite-Chill-Legierungen

Eine bedeutende Neuerung in den frühen 1930er Jahren war die Entwicklung von IC-Legierungen. Das Gefüge dieser Werkstoffe besteht zu einem großen Teil aus Zementit (aus metastabiler Erstarrung) sowie aus geringen Anteilen von Graphit (aus stabiler Erstarrung). Im Vergleich zu den Hartgusswalzen fiel die Härte bei IC-Walzen nicht ab, außerdem stieg der Graphitgehalt mit zunehmendem Abstand von der Ballenoberfläche weiter an, wodurch die Walzen zusätzlich an Zähigkeit gewannen (siehe Abbildung 7 [15]).

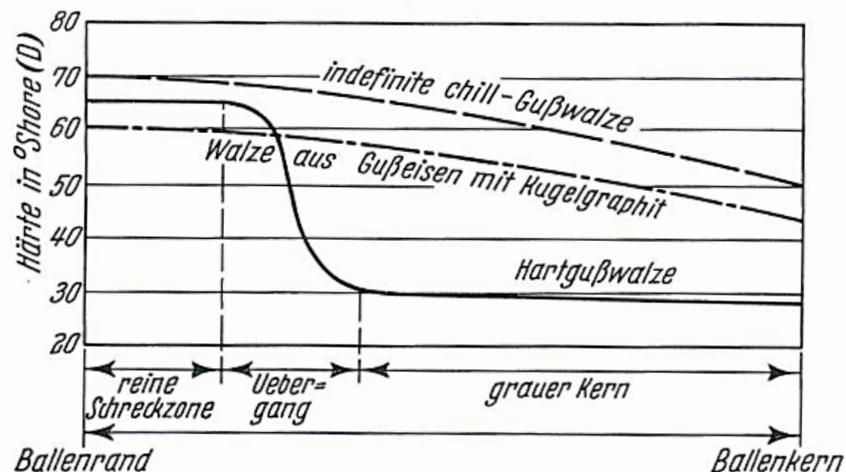


Abbildung 7: Härteänderung vom Ballenrand zum Kern an verschiedenen Walzenqualitäten. [15]

Graphit besitzt eine sehr hohe spezifische Wärmeleitfähigkeit, wodurch der Wärmeabtransport begünstigt wird [8]. Demzufolge erhält man einen geringeren Temperaturgradienten bis zum Walzenkern. Auch gute Rissstopp- und Schmier-Eigenschaften werden dem Graphit zugeschrieben [8]. Die chemische Zusammensetzung in Tabelle 2 ist typisch für eine ICDP-Legierung [16].

Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung typischer Indefinite-Chill-Legierungen in Gew.% [16].

Elemente	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
min.	2,50	0,65	0,30	0,30	0,50	0,10	0,03
max.	3,75	1,40	1,50	2,25	5,00	0,50	0,15

2.4 Erstarrung und Gefügeausbildung

In einer metallischen Schmelze bewegen sich Teilchen regellos ohne Fernordnung zueinander. Kristallgitter bestehen noch nicht, höchstens in wenigen Atomabständen als Keime. Mit zunehmender Abkühlung nimmt auch die Bewegung der Teilchen bis zum Erreichen der Liquidustemperatur ab. Ab diesem Zeitpunkt ist die gegenseitige Anziehung

der Atome wirksam und die Bindung zwischen den Atomen wird nicht mehr von selbst aufgelöst. Die Gefügeausbildung beginnt also mit der Erstarrung der Schmelze bzw. sobald die Liquidustemperatur unterschritten wurde. In der immer noch teilweise flüssigen Schmelze entstehen immer mehr und mehr Ausscheidungen, die sich zum Teil neu bilden und zum Teil an bereits erstarrte Partikel anlagern. Das Vorhandensein von Kristallisationskeimen ist dafür verantwortlich, dass die träge gewordenen Atome ein Kristallgitter bilden [7, 9, 10, 15].

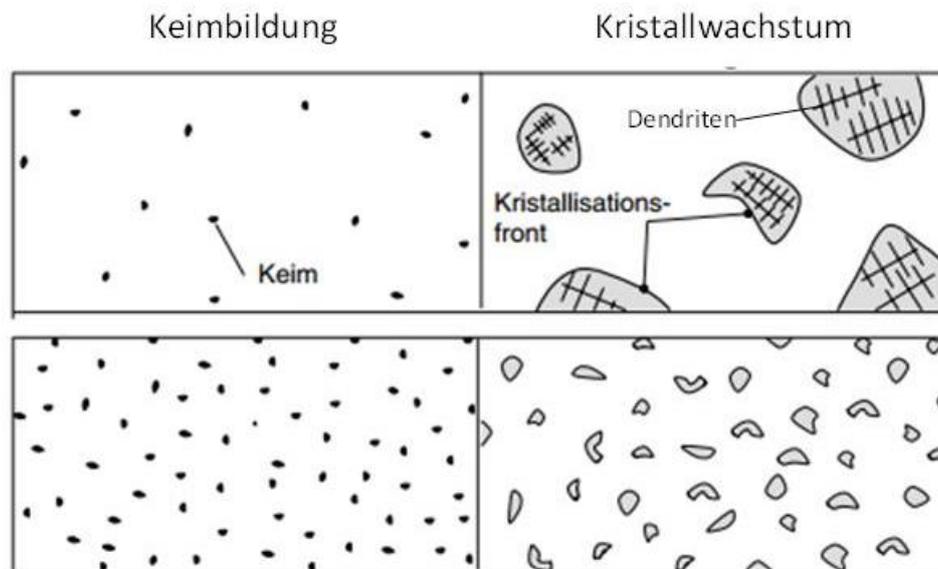


Abbildung 8: dendritische Erstarrung (oben), globulare Erstarrung (unten) nach [7].

In Abbildung 8 ist die Gefügeausbildung schematisch dargestellt. Bei den Keimen kann es sich um homogene Keime (Eigenkeime) oder um heterogene Keime (Fremdkeime) handeln. Auf welche Art und Weise Keime in Metallschmelzen entstehen, wird in Kapitel 2.6 näher beleuchtet. Dendriten entstehen bei höherem Gehalt an Verunreinigungen bzw. Legierungselementen, auch bei erhöhten Abkühlgeschwindigkeiten bildet sich vorzugsweise eine dendritische Mikrostruktur aus. Bei kleinen Unterkühlungen und geringen Gehalten an Verunreinigungen bildet sich eine Zellstruktur aus (globulare Erstarrung) [7, 9, 10, 15].

2.5 Impfen

Wie eingangs erwähnt, versteht man unter Impfen die Zugabe fester Stoffe (Impfmittel) in die Schmelze, um die Bildung von Kristallisationskeimen zu unterstützen. Für den Kohlenstoff besteht vollständige Löslichkeit in der Schmelze und zunehmende Unlöslichkeit im festen Zustand [8]. Um, wie im Fall des Gusseisens [17], diese Graphitbildung zu erleichtern, werden der Schmelze Fremdkeime als „Starthilfe“ hinzugegeben. Verschlacken diese Elemente sehr rasch oder lösen sie sich nicht auf, so tritt keine bzw. nur ein geringer Impfeffekt auf. Nach [18] ist es noch nicht möglich, den an Verfahren und

Gussstückanforderungen angepassten Impfmittelbedarf einer Schmelze in Abhängigkeit von ihrem Keimbildungszustand zielgerecht zu ermitteln, da dieser durch eine Vielzahl von Prozess- und Werkstoffparametern bestimmt ist. Der Keimbildungszustand schwankt dadurch sehr stark, was Lunker, Abweichungen im Gefüge und daraus verschlechterte mechanische Eigenschaften nach sich zieht. Ansätze, den Keimbildungszustand bestimmen zu können, machte Mayr in seiner Dissertation [19]. Die Fremdkeime, die für die Erstarrung der ersten Graphitteilchen verantwortlich sind, unterscheiden sich sowohl in ihrem chemischen als auch in ihrem kristallographischen Aufbau. In den verschiedenen Keimbildungstheorien werden diese Unterschiede erläutert.

2.6 Graphitkeimbildungstheorien für Gusseisenschmelzen

Bis heute existieren verschiedene Theorien über die Graphitkeimbildung. Einige Autoren nehmen eine heterogene Keimbildung des Graphits an, wobei Oxide [20], Sulfide [18], Carbide [21] und Nitride [22] als Keime vermutet werden. Daneben existieren aber auch Arbeiten basierend auf Graphit als Keim [23].

2.6.1 Sulfidkeimtheorie

Nach [20] sind Sulfide in einer Gusseisenschmelze sehr stabil. Demnach ist die Bildung solcher Sulfide energetisch günstiger als die Bildung von Oxiden. [24] stellte fest, dass der Sulfidkeim in mehreren unterschiedlichen Schichten aufgebaut ist (Abbildung 9).

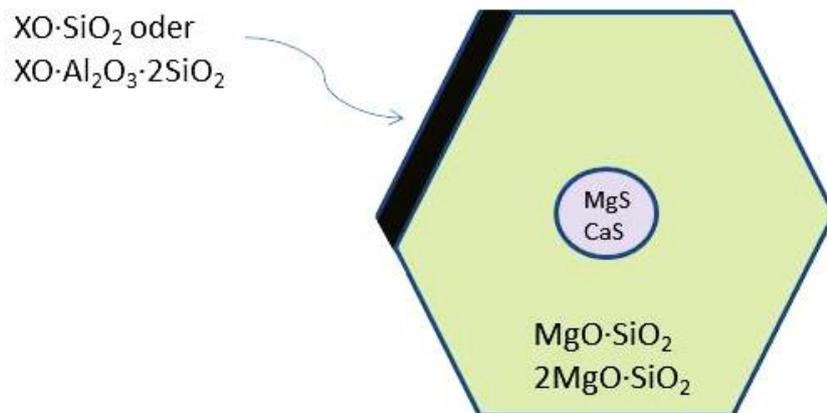


Abbildung 9: Schematische Darstellung des sulfidischen Fremdkeims nach [18].

Diese Keime bestehen aus einem sulfidischen Kern aus MgS oder CaS , welcher von einer Hülle aus Silikat umgeben ist. Diese Teilchen können nach [24] keine Graphitkristallisation auslösen. Laut [14] ist der Grund dafür, dass die spezifische Grenzflächenenergie für die Bildung einer Grenzfläche zwischen einem dieser Einschlüsse und dem Graphit so hoch ist, dass keine heterogene Keimbildung stattfindet. Nach [14] und [24] ist eine Impfung mit Erdalkalielelementen oder Aluminium notwendig. Diese Elemente reagieren mit dem

Sulfidkeim und hexagonale silikatische Phasen des Typs $XO \cdot SiO_2$ und $XO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, $X = Ca, Sr, Ba$ bilden sich [24]. Diese Silikate sind nach [14], [24] und [18] während der Erstarrung sehr gute Kristallisatoren für Graphit, weil ihre hexagonale Kristallstruktur dem Kristallgitter des Graphits sehr ähnlich ist. Dementsprechend ist die zur Bildung der Grenzfläche notwendige Energie sehr niedrig.

[25] stellte fest, dass in GJL-Schmelzen Mangan-(X)-Schwefel-Verbindungen die hauptsächlichen Keime für die Graphitausscheidung sind, wobei X für Fe, Al, Ca, O, Si, Sr usw. stehen kann. [18] leitet die Graphitausscheidung durch die Bildung von MnS als wirksames Substrat ab.

2.6.2 Oxidkeimtheorie

[19] und [26] stellten fest, dass der Ursprung der Keimbildung Teilchen von Siliziumoxid (SiO_2) sind. Die Impfung von Gusseisenschmelzen kann als Desoxidation angesehen werden, wobei der Graphit am Siliziumoxid ankeimen kann und ausgeschieden wird. Damit die Graphitkristallisation abläuft, sind nach [26] folgende Bedingungen notwendig:

- Die Siliziumkonzentration muss hinreichend hoch sein, insbesondere im Verhältnis zu Mangan. Der Siliziumgehalt wird weitgehend durch die chemische Zusammensetzung und die Zugabe an Impfmittel eingestellt.
- Das Löslichkeitsprodukt $[Si] \cdot 2[O]$ muss überschritten sein.
- Da die Ausfällung des Siliziumoxides zeitabhängig ist muss die Abkühlgeschwindigkeit darauf abgestimmt sein.
- Die Siliziumoxidausscheidungen in der Schmelze sind auf Fremdkeime angewiesen. Eine zu geringe Anzahl an Fremdkeimen, wie Aluminium-, Zirkon-, Kalziumoxid, bewirkt eine unzureichende Desoxidation bzw. Impfung.

2.6.3 Graphitkeimtheorie

Eine mit Graphit oder graphithaltigen Impfmitteln durchgeführte Behandlung gilt nach [23] als arteigene Keimhilfe. [23] stellte auch fest, dass die Wirkung von Graphitzusätzen als erwiesen gilt, auch wenn sie je nach variierenden Bedingungen der Schmelzen nicht immer reproduzierbar und effektiv genug ist. [27] machte die Annahme, dass die Sättigung des Kohlenstoffes in Teilen der Schmelze lokal überschritten ist und dadurch beim Erstarren Kohlenstoffpartikel ausscheiden. Legierungs- und Begleitelemente erhöhen oder verringern ebenfalls die Löslichkeit des Kohlenstoffes. [23] bringt das Beispiel Silizium, wonach das Eutektikum einer Schmelze mit 2% Si auf 3,26% C (ohne Si 4,26% C) absenkt. Silizium verdrängt den Kohlenstoff teilweise aus dem gebildeten Austenitgitter und fördert damit die Graphitisierung.

2.6.4 SiC-Keimtheorie

Die Keimbildungsfähigkeit unterschiedlicher Carbide im Gusseisen haben [28] und [29] untersucht. Es wurde festgestellt, dass sich durch Auflösen von SiC die eutektische Gleichgewichtstemperatur verringert und die Zahl der eutektischen Körner erhöht wird. Die besten Ergebnisse für GJL wurden mit partiell oxidierten SiC und bei GJS mit reinem SiC erzielt. In Abbildung 10 ist die Auflösung von reinem SiC (linkes Bild) und partiell oxidiertem SiC (rechtes Bild) schematisch dargestellt.

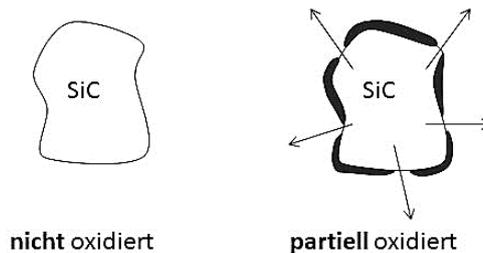


Abbildung 10: SiC links nicht oxidiert, rechts partiell oxidiert nach [21].

Mittels SiC erhält man auch einen gewissen Vorimpfeffekt. Die Besonderheiten des Auflöseverhaltens und des Vorimpfeffekts sind im Folgenden durch ein Modell über den Wirkungsmechanismus von SiC und FeSi zusammengefasst [21].

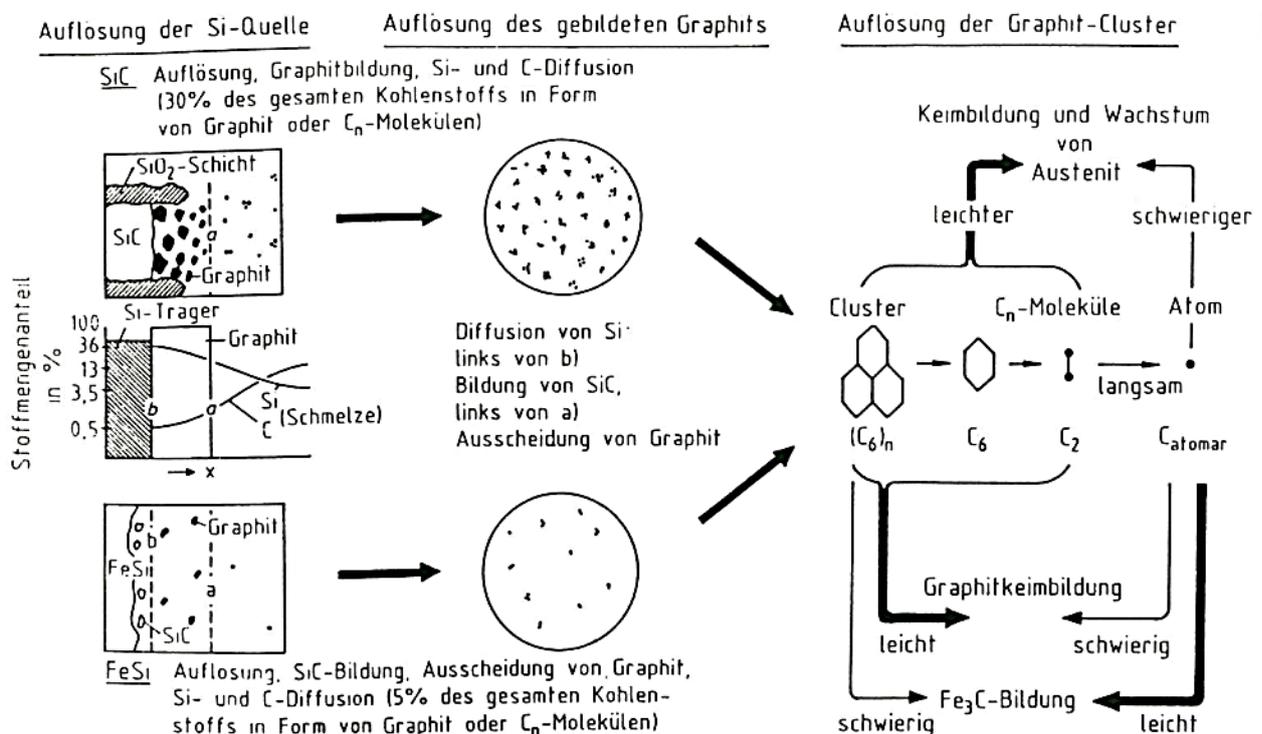


Abbildung 11: Schematische Darstellung des Wirkungsmechanismus von SiC bzw. FeSi. [21]

Es ist nach [21] ein Unterschied, ob sich SiC oder FeSi auflöst, was auch in Abbildung 11 zu sehen ist. Bei SiC entsteht eine größere Menge an Graphit im Vergleich zum FeSi. Den Grund hierfür sieht [21] darin, dass beim Auflösen des Impfmittels lokal kleine übereutektische

Bereiche entstehen, in denen Kohlenstoffcluster gewisse Zeit thermodynamisch stabil sind. Der Unterschied zwischen FeSi und SiC ist nach [21] die Stabilität und Menge der während der Auflösung in der Schmelze gebildeten Kohlenstoffcluster.

2.6.5 Impfverfahren

Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten und Zeitpunkte, das Impfmittel einzubringen [30]. In Abbildung 12 sind die gängigsten Verfahren dargestellt.

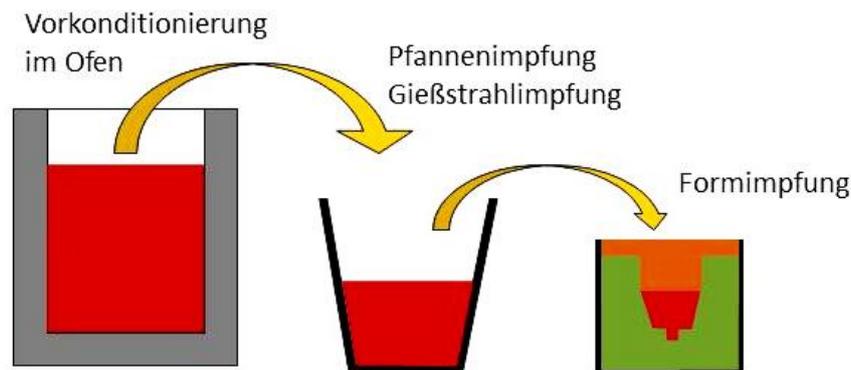


Abbildung 12: Übersicht der verschiedenen Impfverfahren, modifiziert nach [31].

Oft wird mit einer Doppelimpfung gearbeitet. Als typische Doppelimpfung haben sich die Kombination aus Gießstrahl- und Formimpfung, zur Gewährleistung der vollständigen Grauerstarrung, bewährt [32].

2.6.6 Vorkonditionierung

Das Impfmittel wird noch im Ofen direkt in die Schmelze gegeben. In diesem Fall ist ein Impfmittel mit einem Langzeiteffekt erforderlich, da die Keimwirksamkeit bei höheren Temperaturen schnell abklingt [23]. Mit diesem Verfahren kann ein vordefinierter Keimhaushalt eingestellt werden.

2.6.7 Pfannenimpfung

Die Impfung wird dem Gießstrahl kontinuierlich zugegeben. Beim Eingießen in die Pfanne herrschen sehr hohe Turbulenzen. Daher sollte der Impfvorgang relativ rasch abgeschlossen sein, um eine gleichmäßige und schnelle Verteilung des Impfmittels zu erreichen. Die Form der Impfmittel bei diesem Verfahren reicht vom Draht für die Gießstrahlimpfung bis hin zum feinkörnigen Pulver für die Pfannenimpfung [23].

2.6.8 Formimpfung

Es werden kleine Stücke oder ein Granulat der Impfung in die Gussform eingebracht. Die Reaktion mit dem flüssigen Eisen findet dann innerhalb der Form statt. Dieses Verfahren wird angewendet, wenn der Abklingeffekt ein Problem darstellt, da die Zeit zwischen Impfmittelzugabe und Erstarrung stark verkürzt werden kann.

2.6.9 Zwischenimpfung

Öfters wird auch zwischen den einzelnen Impfverfahren, z.B. beim Transport der Pfanne zu den Formkästen, eine Zwischenimpfung durchgeführt, um den Abklingeffekt auszugleichen [23].

2.7 Aufbau von Impfliegierungen

Nach [31] ist es sinnvoll eine Impfliegierung in verschiedene Bestandteile aufzuteilen: Trägersubstanzen (Fe, Si, Mn, Ni) die sich in Gusseisen auflösen, impfwirksame Elemente (Al, Ca, Ba, usw.) Legierungselemente (Ti, Sn, Sb, usw.) und ergänzende Elemente (Bi, O, S) (Abbildung 13).

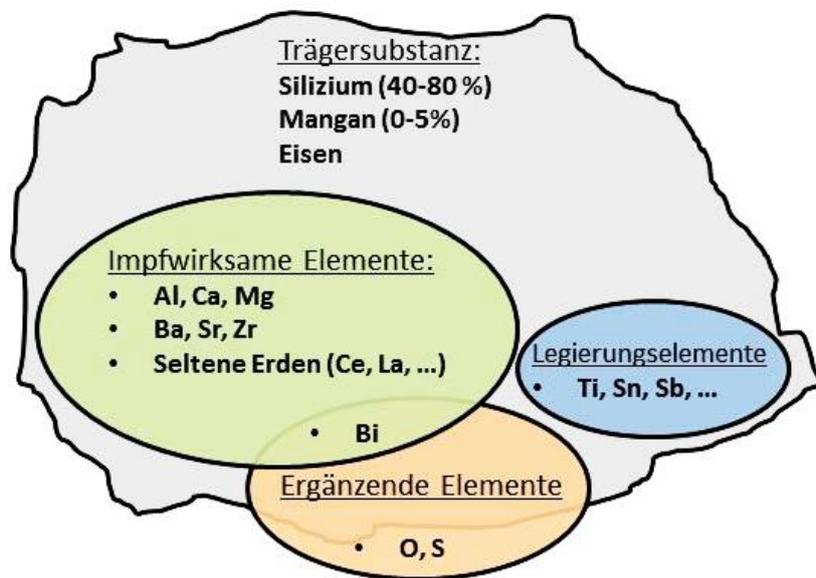


Abbildung 13: Aufbau eines Impfmittels nach [31].

Die Trägersubstanz soll das Impfelement im flüssigen Zustand aufnehmen können und im festen Zustand spröde genug sein, um die erforderliche Körnung herstellen zu können [31]. Meist wird Ferrosilizium mit 40-80% Siliziumgehalt (=FeSi40-80) verwendet. Die impfwirksamen Elemente (Tabelle 1) unterteilt [31] in drei Gruppen.

1. Aluminium, Kalzium und Magnesium

Diese Elemente verfügen über einen sehr guten Impfeffekt durch ihre hohe Affinität zu Sauerstoff, dadurch können sie eine große Anzahl an Oxidteilchen bilden. Wegen der geringen Dichte dieser Oxide steigen diese Verbindungen in der Schmelze leicht auf, verschlacken und die Impfwirkung sinkt. Auch ist das Risiko unerwünschter Nebeneffekte, wie etwa einer Schlackebildung bei zu hoher Impfmittelmenge, relativ hoch. Eine

Gegenüberstellung der Dichte verschiedener Oxide und Sulfide ist in Abbildung 14 zu sehen [31].

2. Barium, Strontium und Zirkon

Diese Elemente verfügen über eine gute Impfwirkung. Aufgrund der höheren Dichte der Reaktionsprodukte, im Vergleich zu Aluminium, Kalzium und Magnesium, ergeben sich eine längere impfwirksame Zeit und weniger Nebeneffekte [31].

3. Seltene Erden (hauptsächlich Ce & La)

Die hohe Affinität zu Sauerstoff, kombiniert mit der hohen Dichte der Reaktionsprodukte, bewirkt, dass nur wenige Keime verloren gehen. Das bedeutet, dass diese Elemente einen sehr guten und konstanten Impfeffekt besitzen. Ein Nebeneffekt ist die Entartung des Graphits bei Verwendung von zu viel Impfmittel [33].

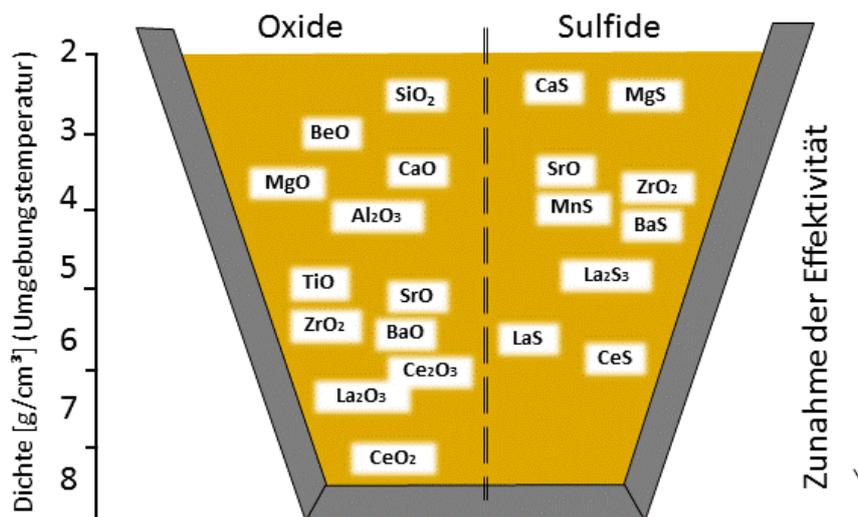


Abbildung 14: Dichte verschiedener Reaktionsprodukte nach dem Impfvorgang modifiziert nach [31].

Bismut wirkt nicht wie ein Desoxidationsmittel [31], sondern wie ein Reaktionspartner (vergleichbar mit Sauerstoff und Schwefel). [31] hält fest, dass Bismut nur in Kombination mit seltenen Erden positive Auswirkung auf die Graphitbildung hat. Alleine würde dieses Element die Graphitbildung stören und zu Entartung führen.

3 Durchgeführte Versuche

Die experimentellen Versuche wurden im Versuchsschmelzlabor des ESW durchgeführt. Bei den Versuchen wurde das Impfmittel während dem Abstich in den Gießstrahl zugegeben.

3.1 Planung der Gussversuche

Die Gussversuche wurden in drei Serien aufgeteilt. In der ersten Serie sollte ein Großteil der am Markt verfügbaren Impfmittel und die Wirkung einzelner impfwirksamer Elemente getestet werden (Screening). In Serie zwei wurden acht Impfmittel ein zweites Mal getestet, um die Ergebnisse aus der ersten Serie zu bestätigen. In der dritten Serie wurden Impfmittel kombiniert eingesetzt, um zu überprüfen, ob sich positive Effekte überlagern lassen.

3.1.1 Serie 1: Screening

Es wurde mit drei verschiedenen Impfmittelherstellern Kontakt aufgenommen, um zu klären, welche Impfmittel verfügbar sind. Insgesamt wurden 20 verschiedene Mittel getestet. Weiters sollten Zr, seltene Erden (vorwiegend Ce + La) und Al ohne zusätzlichem impfwirksamen Element getestet werden. In Tabelle 3 sind die Impfmittel, die für die Versuche verwendet wurden, aufgelistet. Unterteilt wurden diese nach deren impfwirksamen Elementen in unterschiedliche Kategorien, die auch farblich gekennzeichnet sind. Es wurden pro Impfmittel zwei unterschiedliche Zugabemengen, 0,2 Mass.-% und 0,7 Mass.-%, getestet.

Tabelle 3: Übersicht der verwendeten Impfmittel.

Nr.	impfwirksame Elemente	Träger-substanz	Markenname	Kategorie
0	Kein Impfmittel			Ausgang-situation
1	Ca (30%) Al (2,0%)	Si 60	CaSi	
2	Ca (1,0%) Al (1,0%) Ba (2%)	FeSi 70	SB5	
3	Al (99 %)	Al 99	Al	Einzelne Elemente
4	SE (Ce:La 3:1) (30%)	FeSi 40	TT NoC T10+	
5	Zr (40%)	Fe	FeZr	
6	Ca (30%) Al (2,0%)	Si 50 Mn 20	CaSiMn	Al & Ca
7	Ca (1,0%) Al (1,0%)	FeSi 55 Ti 10	LC Graphidox	
8	Ca (1,5%) Al (4,4%)	FeSi 75	TT NoC V10	
9	Ca (1,5%) Al (1,5%) Ba (2,7%)	FeSi 70	TT NoC Cb07	Al, Ca & Ba
10	Ca (1,0%) Al (1,8%) Ba (7,0%)	FeSi 70	TT NoC Cb09	
11	Ca (1,3%) Al (1,2%) Ba (11,0%)	FeSi 65	SB 10	

Nr.	impfwirksame Elemente	Träger- substanz	Markenname	Kategorie
12	Ca (1,2%) Al (1,2%) SE (Ce:La 3:1) (2,0%)	FeSi 75	TT NoC T05	Al, Ca & SE
13	Ca (1,0%) Al (1,0%) SE (Ce:La 3:1) (15,0%)	FeSi 45	TT NoC T08	
14	Ca (0,1%) Al (0,5%) Sr (0,8%)	FeSi 75	SRF 75	Al, Ca, Sr & Zr
15	Ca (1,5%) Al (2,9%) Zr (2,0%)	FeSi 75	TT NoC Cz10	
16	Ca (1,3%) Al (0,9%) Zr (4,0%)	FeSi 65 Mn 4	Inoculin 25	
17	Ca (0,1%) Al (0,5%) Zr (1,6%) Sr (1,2%)	FeSi 75	TT NoC U03	
18	Ca (2,5%) Al (0,9%) Bi (0,3%) SE (0,6%) Ba (0,3%)	FeSi 75	Inoculin 440	Sonder- varianten
19	Ca (2,0%) Al (0,9%) Bi (1,0%) SE (1,0%)	FeSi 75	SMW 605	
20	Ca (7,0%)	Ni 95	NiCal	

3.1.2 Serie 2: Bestätigung/Reproduzierbarkeit

Es wurden acht Experimente aus der ersten Serie ein zweites Mal durchgeführt, um die Ergebnisse der Versuche aus der Serie 1 zu bestätigen. Diese Impfmittel sind Tabelle 4 zu entnehmen. Die Impfmittel sind durch eine idente Farbgebung und Nummerierung analog der Serie 1 zuzuordnen. Es wurden die Standardimpfmittel CaSi und SB5 verwendet, ein Abguss wurde ohne Impfmittel ein zweites Mal durchgeführt. Die restlichen fünf Impfmittel wurden nach der Analyse der Serie 1 ausgewählt.

Tabelle 4: Impfmittel der zweiten Serie mit den Zugabemengen.

Nr.	impfwirksame Elemente	Träger- substanz	Markenname	Zugabe- menge
0	Kein Impfmittel			
1	Ca (30%) Al (2,0%)	Si 60	CaSi	0,2 %
2	Ca (1,0%) Al (1,0%) Ba (2%)	FeSi 70	SB5	0,2 %
3	Al (99 %)	Al 99	Al	0,2 %
9	Ca (1,5%) Al (1,5%) Ba (2,7%)	FeSi 70	TT NoC Cb07	0,2 %
11	Ca (1,3%) Al (1,2%) Ba (11,0%)	FeSi 65	SB 10	0,2 %
15	Ca (1,5%) Al (2,9%) Zr (2,0%)	FeSi 75	TT NoC Cz10	0,2 %
18	Ca (2,5%) Al (0,9%) Bi (0,3%) SE (0,6%) Ba (0,3%)	FeSi 75	Inoculin 440	0,2 %

3.1.3 Serie 3: Kombinationen

In der dritten und abschließenden Serie wurden verschiedene Impfmittel miteinander kombiniert, um zu überprüfen, ob durch eventuelle Überlagerung der verschiedenen Reaktionen bzw. der unterschiedlichen Reaktionsprodukte die Graphitausbeute maximiert werden kann. Es wurden zwölf verschiedene Impfmittelkombinationen ausgewählt, siehe

Tabelle 5). Bei der Auswahl der Kombinationen wurden die Ergebnisse aus Serie 1 und Serie 2 berücksichtigt, um die maximale Graphitausscheidung zu erreichen. Weiters wurde darauf geachtet, keine ähnlichen Impfmittel miteinander zu kombinieren. Es wurde zum Beispiel ein Impfmittel, das seltene Erden enthält, mit einem zirkonhaltigen Impfmittel kombiniert. Es wurden auch Kombinationen, bei denen der Gehalt an Kalzium bzw. Aluminium erhöht wurde, getestet, da gewisse impfwirksame Elemente Aluminium bzw. Kalzium als Reaktionspartner benötigen (siehe Kapitel 2.6.1). Die Impfmittel sind durch die Farbgebung und Nummerierung den ursprünglichen Gruppen der Serie 1 und 2 zuzuordnen.

Tabelle 5: Impfmittelkombinationen der dritten Serie mit den verwendeten Zugabemengen.

Bez.	Nr.	Impfwirksame Elemente	Markenname	Zugabemenge
A	18	Ca (2,5%) Al (0,9%) Bi (0,3%) SE (0,6%) Ba (0,3%)	Inoculin 440	0,2 %
	16	Ca (1,3%) Al (0,9%) Zr (4,0%)	Inoculin 25	0,2 %
B	11	Ca (1,3%) Al (1,2%) Ba (11,0%)	SB 10	0,2 %
	8	Ca (1,5%) Al (4,4%)	TT NoC V10	0,2 %
C	12	Ca (1,2%) Al (1,2%) SE (Ce:La 3:1) (2,0%)	TT NoC T05	0,2 %
	16	Ca (1,3%) Al (0,9%) Zr (4,0%)	Inoculin 25	0,2 %
D	1	Ca (30%) Al (2,0%)	CaSi	0,2 %
	16	Ca (1,3%) Al (0,9%) Zr (4,0%)	Inoculin 25	0,2 %
E	9	Ca (1,5%) Al (1,5%) Ba (2,7%)	TT NoC Cb07	0,2 %
	12	Ca (1,2%) Al (1,2%) SE (Ce:La 3:1) (2,0%)	TT NoC T05	0,2 %
F	8	Ca (1,5%) Al (4,4%)	TT NoC V10	0,2 %
	12	Ca (1,2%) Al (1,2%) SE (Ce:La 3:1) (2,0%)	TT NoC T05	0,2 %
G	9	Ca (1,5%) Al (1,5%) Ba (2,7%)	TT NoC Cb07	0,2 %
	---	Ca(>95%)	CaF ₂	0,12%
H	11	Ca (1,3%) Al (1,2%) Ba (11,0%)	SB 10	0,2 %
	---	Ca(>95%)	CaF ₂	0,12%
I	16	Ca (1,3%) Al (0,9%) Zr (4,0%)	Inoculin 25	0,2 %
	---	Ca(>95%)	CaF ₂	0,12%
J	9	Ca (1,5%) Al (1,5%) Ba (2,7%)	TT NoC Cb07	0,2 %
	3	Al (99 %)	Al	0,03 %
K	11	Ca (1,3%) Al (1,2%) Ba (11,0%)	SB 10	0,2 %
	3	Al (99 %)	Al	0,03 %
L	16	Ca (1,3%) Al (0,9%) Zr (4,0%)	Inoculin 25	0,2 %
	3	Al (99 %)	Al	0,03 %

3.2 Versuchsbedingungen

Um ungeplante Einflüsse auf die Graphitausscheidung zu verhindern, wurden die Versuche immer nach demselben Ablauf abgewickelt (siehe Kapitel 3.2.1). Dies ermöglicht, die Proben trotz einer nicht ausschließbaren, aber konstanten systematischen Abweichung, vergleichen zu können. In Tabelle 6 sind oben die vorgegebenen Sollwerte (Soll) der chemischen Zusammensetzung in Mass.-% zu sehen. MW gibt den Mittelwert über alle untersuchten Proben an. Die Max.- bzw. Min.-Werte zeigen die Schwankungsbreite.

Tabelle 6: Abweichungen der chemischen Zusammensetzung der untersuchten ICDP-Legierung.

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Ni [%]	Cr [%]	(V + Mo + Nb +W) [%]
<i>Soll</i>	3,37	1,63	0,83	4,27	1,87	4,61
MW	3,35	1,65	0,81	4,21	1,85	4,59
Min.	3,26	1,56	0,78	4,12	1,83	4,42
Max.	3,45	1,76	0,84	4,31	1,88	4,74

Tabelle 7 gibt einen Überblick über prozesstechnisch wichtige Temperaturen (Liquidus-, Abstich- und Einguss-Temperatur). MW gibt den Mittelwert aller durchgeführten thermischen Analysen bzw. Temperaturmessungen an.

Tabelle 7: Übersicht der Liquidus-, Abstich- und Eingusstemperatur.

	Liquidustemperatur	Abstichtemperatur	Eingusstemperatur
MW	1205 °C	1410 °C	1310 °C
Min.	1197 °C	1390 °C	1290 °C
Max.	1211 °C	1426 °C	1325 °C

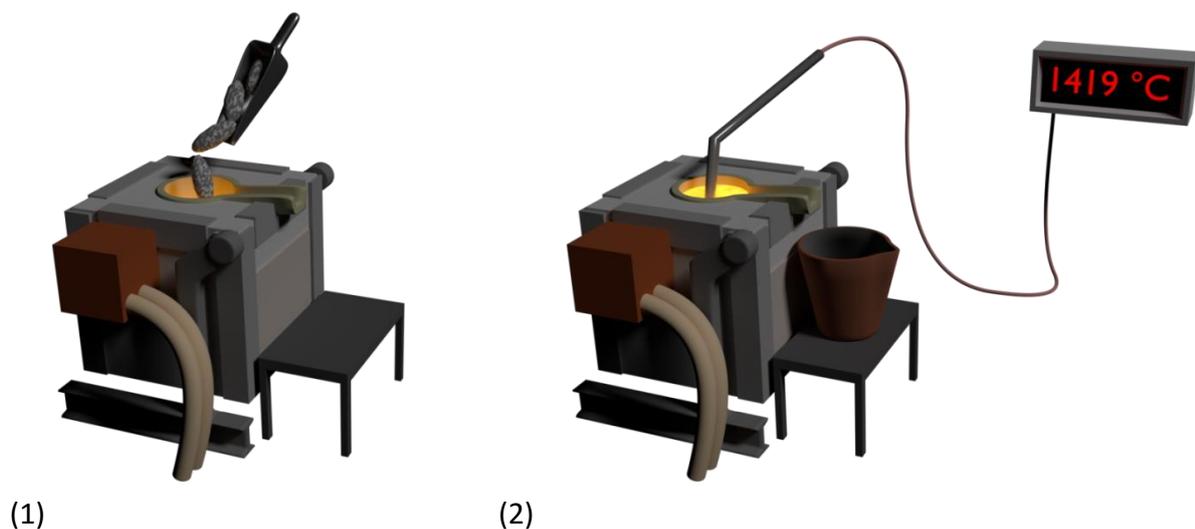
In Tabelle 8 sind die Abweichungen der Zugabemengen zu sehen. Der Mittelwert (MW) passt sehr gut mit der Vorgabe (Soll) überein, jedoch variieren die Maximal- bzw. Minimalwerte stärker. Der Grund liegt darin, da die Abstichmenge prozesstechnischen Schwankungen unterliegt.

Tabelle 8: Überblick über die verschiedenen Zugabemengen

Zugabemengen		
<i>Soll</i>	0,200 %	0,700 %
MW	0,204 %	0,703 %
Min.	0,161 %	0,658 %
Max.	0,326 %	0,775 %

3.2.1 Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden in einer Mittelfrequenz-Induktions-Tiegelofenanlage der Marke Junker (Modell MFT ST 50/3000) durchgeführt (Abbildung 15). Im Ofen wurde ein Fertigtiegel aus Siliziumoxid eingesetzt und zugestellt. Es wurden 48 kg des Basismaterials erschmolzen (1). Die gesamte Chargenzeit betrug ungefähr drei Stunden. Das Material wurde auf ca. 1500°C erhitzt, damit ein konstanter Keimzustand erreicht wird, und danach auf 1420°C abgekühlt (2). War diese Temperatur erreicht, wurde die chemische Zusammensetzung überprüft, siehe Kapitel 3.2.4. Nach den notwendigen Korrekturen wurde eine thermische Analyse (Kapitel 3.2.3) durchgeführt, um die Liquidustemperatur ($=T_L$) der Schmelze zu bestimmen. Bei einer Temperatur von $200^\circ\text{C} > T_L$ erfolgte der Abstich in die Pfanne, wobei gleichzeitig das Impfmittel in den Gießstrahl zugegeben wurde (3). Die gesamte Menge an Impfmittel wurde im ersten Drittel zugegeben, da sich das Impfmittel durch die Turbulenzen des nachkommenden Eisens gut verteilen und durchmischen konnte. Nachdem die erforderlichen 15,5 kg in die Pfanne abgegossen waren und sich das Impfmittel aufgelöst hatte, wurde eine Fertigprobe genommen und kontinuierlich die Temperatur überwacht (4). Aufgrund der geringen Abstichmenge (15,5kg) wurde die Pfanne auf 700°C vorgeheizt, um ein zu schnelles Abkühlen der Schmelze zu verhindern. Bei einer Temperatur von $100^\circ\text{C} > T_L$ wurde die Schmelze in eine Sandform gegossen (5). Die Form der Stegprobe ist im Kapitel 3.2.2 näher beschrieben. Unmittelbar nach dem Einguss wurde die Form mit Vermiculite abgedeckt, um eine schnelle Formabkühlung zu verhindern (6). Pro Schmelzversuch konnten drei Stegproben zu je 15,5 kg abgegossen werden. Nach Abkühlen auf Raumtemperatur wurden die Proben aus den Formen geschlagen. Mit einer Trennschneidmaschine wurde zweimal in die Stegprobe eingeschnitten (7), anschließend wurde die Probe herausgeschlagen (8). Diese Proben wurden für die Analyse zuerst geschliffen, geläppt und zum Schluss poliert. Danach wurde im Lichtmikroskop der Graphit in 9mm und in 21mm Randabstand analysiert, siehe Kapitel 3.2.5.



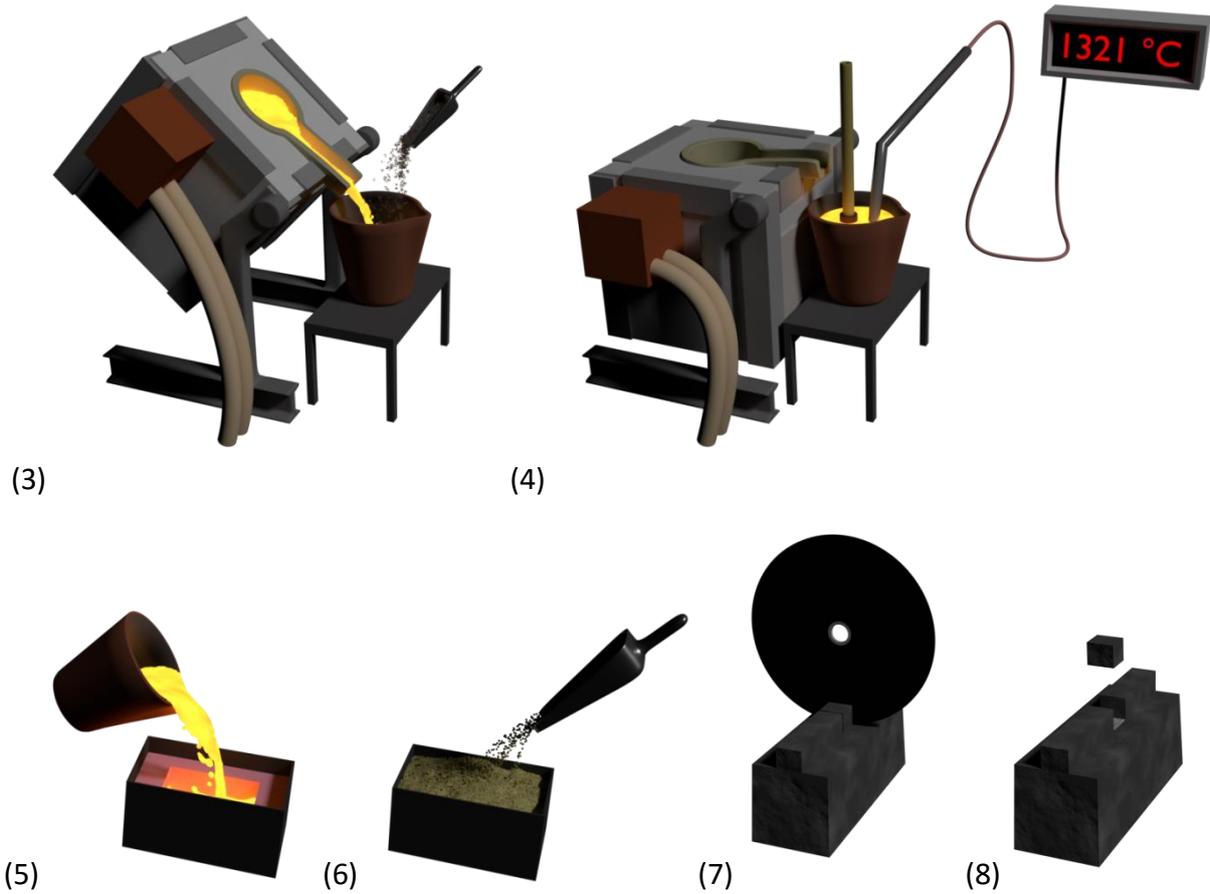


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Versuchsdurchführung.

3.2.2 Stegprobenform

Der Abguss erfolgte in eine Sandform, in welcher die Stegprobe eingeformt war. Die Geometrie dieser Probe ist in Abbildung 16 zu sehen.

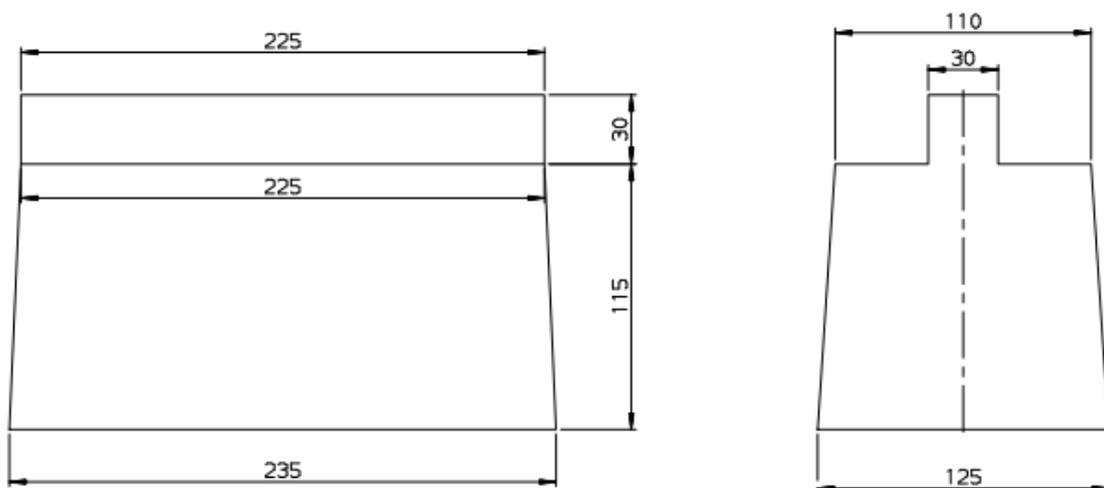


Abbildung 16: Technische Zeichnung der Stegprobe.

Das Einformen der Stegprobe kann grob in drei Teilschritte unterteilt werden (Abbildung 17):

1. Zuerst wurde auf das Holzmodell ein geschlitzter Schamotteziegel aufgesetzt, um den Steg beim Abguss gegen Auswaschungen zu schützen. Danach wurden Holzmodell und Ziegel mittig im Formkasten platziert.
2. Anschließend wurde die Form mit Wasserglas-Esther gebundenem Silikatsand aufgefüllt. Dabei wurde der Sand mittels Stampfer verdichtet, um Blasen und Hohlräume zu verhindern. Derartige Fehlstellen könnten fatale Auswirkungen beim Einguss nach sich ziehen, wie zum Beispiel ein Ausfließen des flüssigen Eisens.
3. Sobald der Formsand ausgehärtet war, wurde die Form umgedreht und das Holzmodell entfernt. Danach wurde die Oberfläche noch mittels Zirkon-Silikat-Schlichte behandelt, um ein Eindringen des flüssigen Eisens in den Sand und damit einhergehende Penetrationen zu verhindern.

Die Formkästen hatten beim Abguss stets Raumtemperatur.

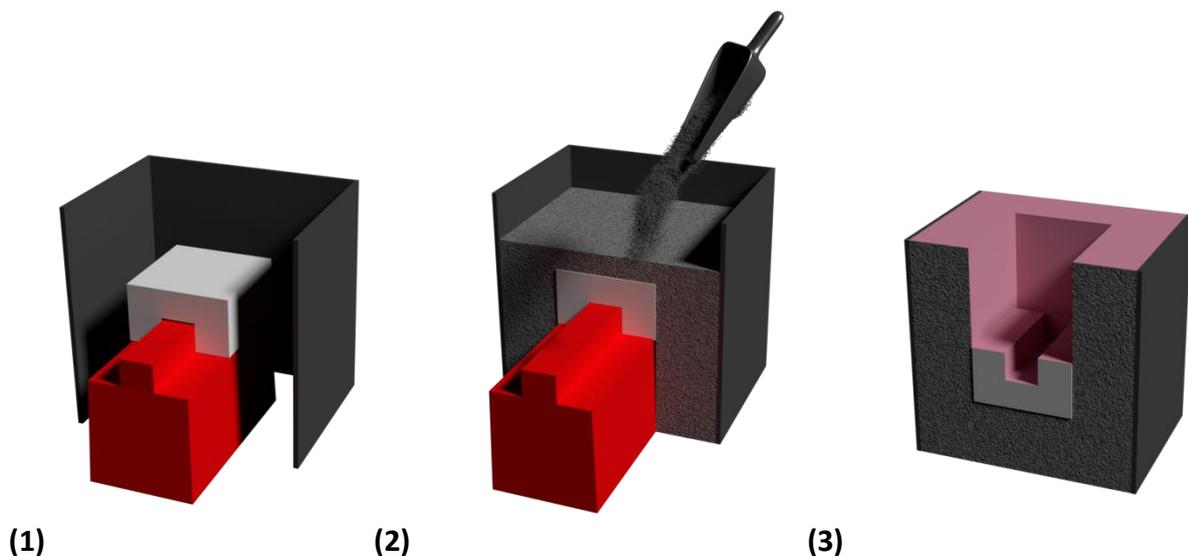


Abbildung 17: Schematischer Ablauf beim Einformen: (1) Holzmodell mit Schamotteziegel, (2) während dem Einformvorgang, (3) fertiger Formkasten.

3.2.3 Bestimmung der Liquidustemperatur mittels thermischer Analyse

Bei thermischen Analysen werden durch die Messung und Auswertung von Abkühlkurven bei Metallen unterschiedliche Informationen über den Erstarrungsprozess gewonnen. Dazu zählen [34, 19]: Die Bestimmung von Umwandlungspunkten oder -bereichen (Liquidus- und Solidustemperaturen, Temperaturen und Zeitpunkte von Phasenausscheidungen), Anhaltspunkte über die Gefügeausbildung (Keimzustand) und der Nachweis von chemischen Verunreinigungen (Verschiebung von Umwandlungspunkten). Für die Versuche wurde eine

thermische Analyse der Firma Heraeus Electro-Nite GmbH & Co. KG verwendet. Hierbei wurde mittels Probenlöffel das flüssige Eisen aus dem Ofen genommen und in den dafür vorgesehenen Econ-O-Carb-Tiegel gegossen. Die Abkühlkurve wurde (Abbildung 18) mit der Software PhaseLab ausgewertet. Von den unterschiedlichen Parametern war für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen nur die Liquidustemperatur von Interesse. Diese Temperatur wurde von jeder Charge neu bestimmt. Die Abweichung zwischen den Chargen sollte so gering wie möglich sein, um immer dieselben Gießbedingungen zu ermöglichen, siehe Kapitel 3.2.

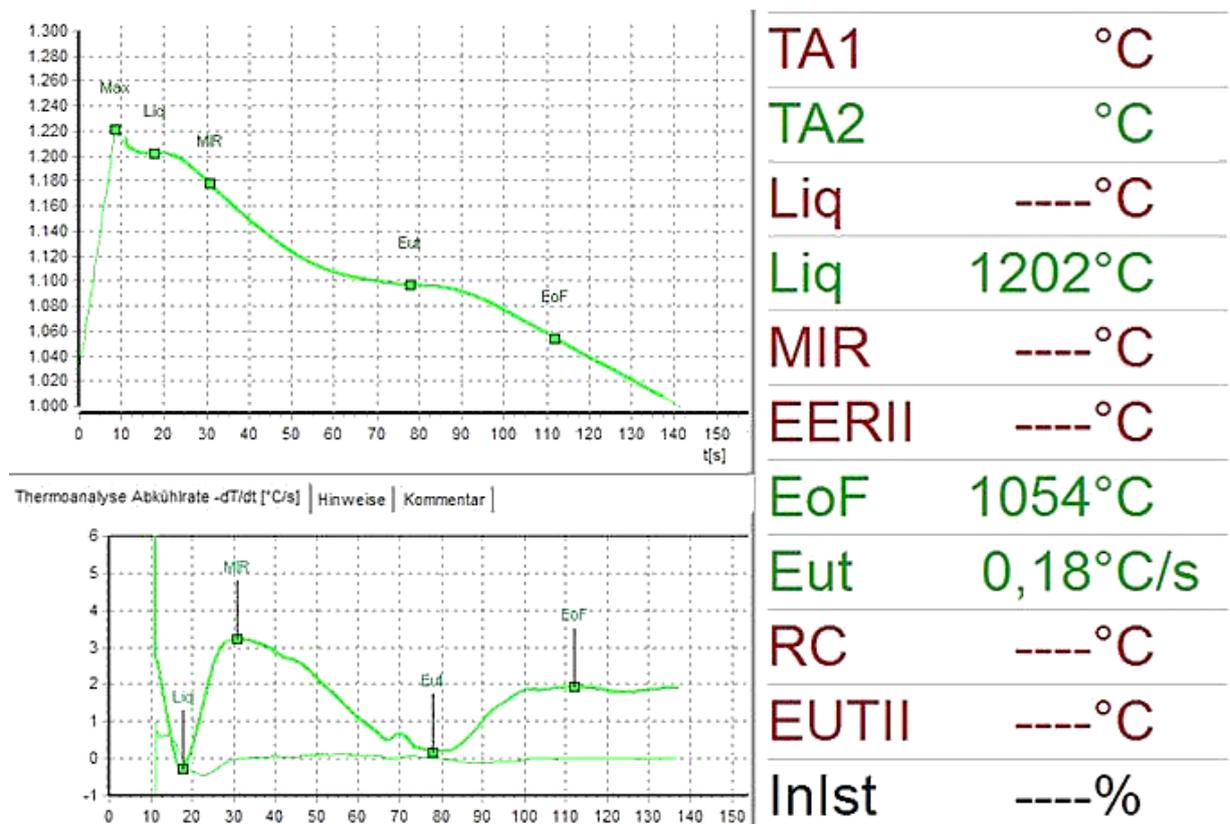


Abbildung 18: Typische Erstarrungskurve der thermischen Analyse.

3.2.4 Überprüfung der chemischen Zusammensetzung

Das flüssige Eisen wurde mittels eines Probenlöffels aus dem Tiegel entnommen und in eine Form aus Kupfer gegossen (Probe siehe Abbildung 19 links). Die fertige Probe ist in Abbildung 19 rechts zu sehen. Diese zeigt deutlich, warum die Probe umgangssprachlich auch als „Schilling“ bezeichnet wird. Für die anschließende chemische Untersuchung wurden der Einguss-Speiser abgeschlagen, die „Ohren“ abgebrochen und die Vorderseite des Schillings blank geschliffen. Mit den Ohren wurde der Schwefel- bzw. Kohlenstoffgehalt mittels Trägergas-Heißextraktionsanalysator der Firma Leco (CS2320) ermittelt. Mit dem Probenschilling selbst wurden die restlichen Legierungselemente mittels eines Funkenemissionsspektrometers der Marke OBLF (QSG750) bestimmt.



Abbildung 19: Schillingprobe (links: Zustand nach dem Gießen, rechts: Zustand vor der chemischen Analyse).

3.2.5 Graphitmessung mittels Lichtmikroskop

Für die Untersuchungen wurde nur ein Teil der Stegprobe, der mittig aus dem Steg entnommen wurde, analysiert. Es wurde der Graphitgehalt mittels Lichtmikroskop Modell LEICA DM RME und der Auswertesoftware QWinPro 3.5.1 bestimmt. Der Graphitgehalt wurde in zwei verschiedenen Randabständen (9 und 21 mm) gemessen. Pro Messstelle wurden 15 Einzelbilder mit einer 50-fachen Vergrößerung (1310,72 x 983,04 μm) angefertigt und von der Software ausgewertet. Dies entspricht einem untersuchten Bereich von ca. 4 x 5 mm in 9 bzw. 21 mm Tiefe, wie in Abbildung 20 zu sehen ist.

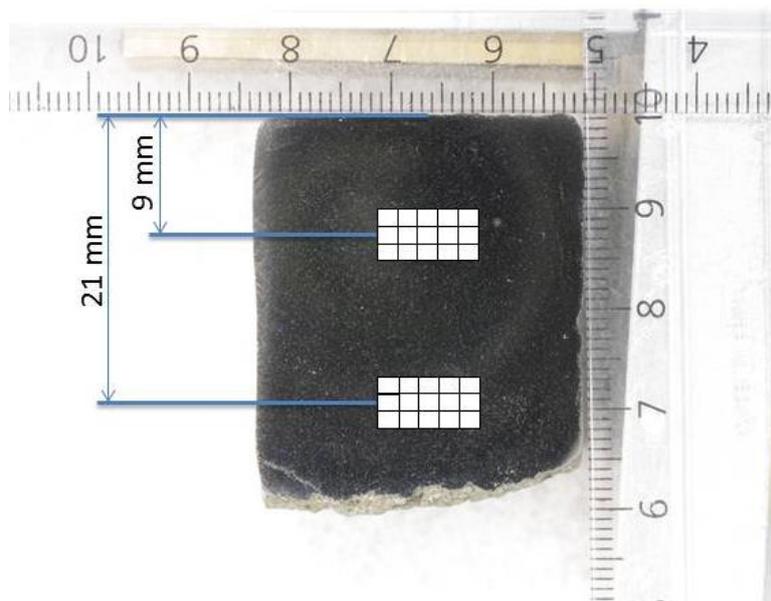


Abbildung 20: Bereiche der Graphitmessung.

Die Werte der Graphitmessung von Abbildung 21 sind in Tabelle 9 zu sehen.

Tabelle 9: Graphitanalysewerte in 9mm bzw. 21mm anhand des Beispiels in Abbildung 21

Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.-%	Dichte [1/mm ²]	Formfaktor	Fl.-%	Dichte [1/mm ²]	Formfaktor
2,1	48	0,80	2,1	46	0,79

Der Graphit in der ungeätzten Probe erscheint unter dem Lichtmikroskop schwarz, alles andere erscheint weiß. Die Software wertet pro Bild den „schwarzen“ Anteil prozentuell aus, summiert danach die 15 Werte zusammen und bildet den Mittelwert. Dieser Wert entspricht dann dem Graphitgehalt [Fl.-%] in 9 mm bzw. 21 mm. Es wurde noch die Teilchendichte und der Formfaktor bestimmt.

Der Formfaktor wird wie in Gleichung 2 dargestellt, berechnet

$$\text{Formfaktor} = \frac{2 \cdot \sqrt{A \cdot \pi}}{U} \quad (2)$$

Dabei beschreiben die Variablen A die Fläche des Partikels und U den Umfang des flächengleichen Kreises. Eine Kugel hat den Wert 1. Je weiter der Graphit von der Kugel abweicht, desto kleiner wird dieser Wert. Zum Abschluss wird an jeder Messstelle noch ein Übersichtsbild angefertigt. Das Übersichtsbild besteht aus vier Einzelbildern (schwarzer Rahmen), wobei das Bild mit der höchsten Übereinstimmung des Ergebnisses in der Mitte sitzt (oranger Rahmen), siehe Abbildung 21.

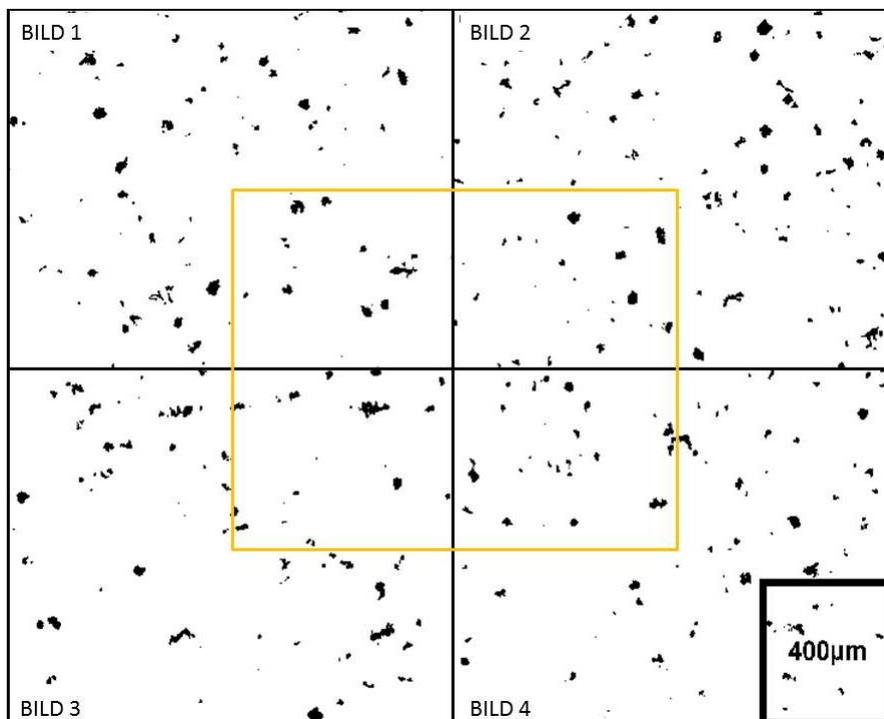


Abbildung 21: Übersichtsbild der Graphitmessung.

3.2.6 *Probenvorbereitung*

Zur lichtmikroskopischen Untersuchung eines metallischen Gefüges werden die Proben wie folgt präpariert:

- Schneiden

Im ersten Schritt wurden die Proben aus der Stegprobe geschnitten. Dies wurde mit einer Trennschneidmaschine der Marke Struers (Modell Axitom 10) durchgeführt. Dazu wurde die Probe in der Maschine platziert und im Abstand von 25 mm zweimal eingeschnitten. Anschließend wurde die Probe mittels Hammer und Meißel herausgeschlagen. Sofort danach wurden die Proben zur verwechslungsfreien Identifikation graviert und in einen Probenhalter eingespannt.

- Schleifen

Das Schleifen wird durchgeführt, um thermische Einflüsse des Schneidens zu entfernen. Hierbei muss die richtige Körnung des Schleifsteins, eine geeignete Kraft sowie eine passende Anzahl an Umdrehungen/min gewählt werden. Die Proben wurden in eine Maschine der Marke ATM (Modell Saphir 375) eingespannt. Mit einer Kraft von 450N und 150U/min wurden ca. 1,30 mm abgeschliffen. Während des Schleifens wurde mit Wasser gekühlt.

- Läppen

Um eine auswertbare Probenoberfläche zu bekommen, muss nach dem Schleifen geläppt und danach poliert werden. Die Proben wurden in eine Maschine der Marke ATM (Modell Rubin 530) eingespannt. Während des Poliervorganges wurden die Proben mit 180 N und 150 U/min bearbeitet. Auf die Schleifscheibe (MD Alegro) tropfte kontinuierlich eine Diamantpaste mit einer Körnung von 15 μm . Der erste Läppschrift wurde 6 Minuten lang durchgeführt. Wie auch beim Schleifen muss die Probe nach jedem Schritt gereinigt werden. Dazu wurden die Probe und der Probenhalter zuerst in einem Ultraschallbad mit Ethanol und die Probe nach dem Ausspannen aus dem Probenhalter zusätzlich mit Ethanol gereinigt und getrocknet.

- Polieren

Der letzte Schritt, das Polieren, wurde nach dem Läppen durchgeführt. Die Prozessparameter sind nahezu ident und unterscheiden sich nur dadurch, dass eine andere Diamantpaste mit 3 μm und ein anderes Poliertuch (Delta) verwendet wurden. Nach dem Polieren wurden die Proben wieder mit Ethanol gereinigt und getrocknet.

4 Ergebnisse

Im Jahresdurchschnitt wird an Proben aus Walzen 2,1 Fl.-% Graphit und eine Teilchendichte von 40-50 mm⁻² (künftig als T/mm² angegeben), siehe Tabelle in Abbildung 22, gemessen. Weiters ist in Abbildung 22 ein Übersichtsbild des Graphits in 9 bzw. in 21 mm zu sehen. Die Standardimpfung der untersuchten ICDP-Legierung wird mit 0,2% CaSi in Form einer Pfannenimpfung durchgeführt.

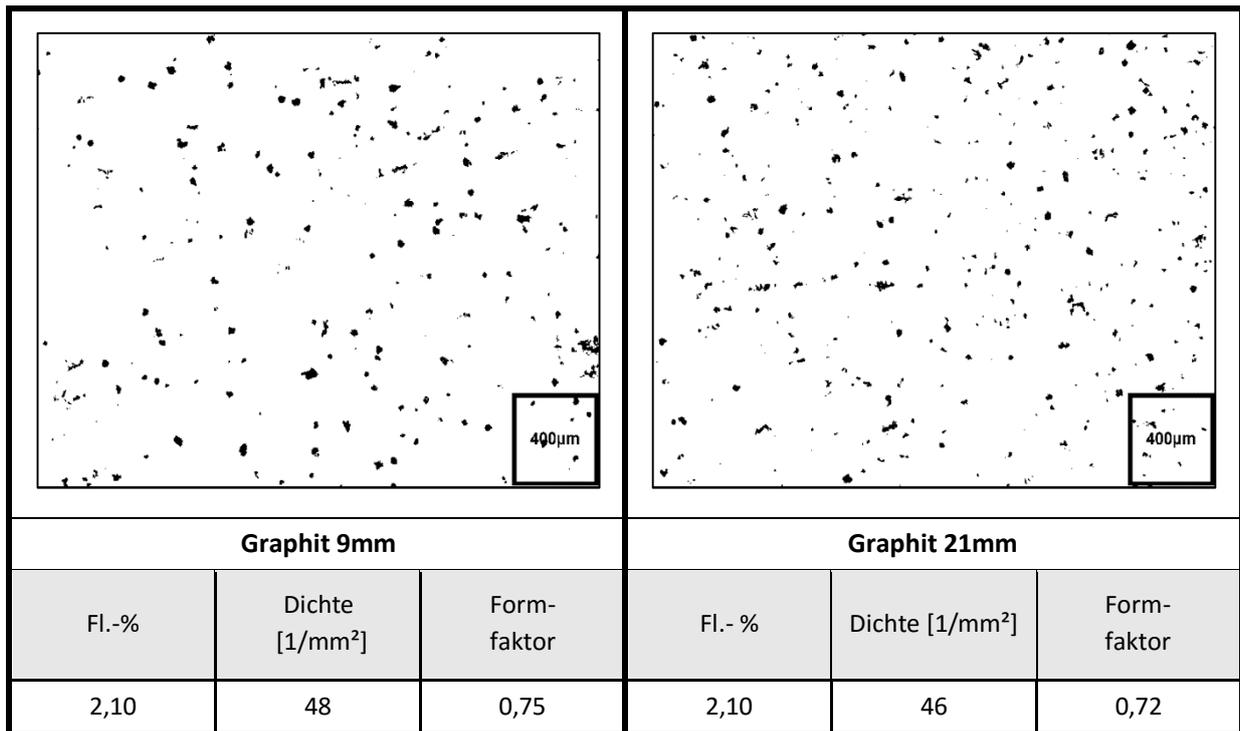


Abbildung 22: Übersichtsbild und Werte der Graphitmessung in der Walze.

4.1 Serie 1: Screening

Die Ergebnisse werden wie in Kapitel 3.1.1 (Tabelle 3) in dieselben Kategorien unterteilt und analysiert.

4.1.1 Ausgangssituation (Nr. 0-2)

Zur Ermittlung der Ausgangssituation wurde eine Referenzprobe (Nr. 0 siehe Tabelle 3) gegossen, um zu bestimmen, wieviel Graphit ohne Zugabe von Impfmittel gebildet wird. In weiterer Folge wurden Impfmittel, die im ESW bereits verwendet werden, getestet. Abbildung 23 (links oben) zeigt das Übersichtsbild und in der darunter liegenden Tabelle das Ergebnis der Graphitmessung der Referenzprobe, rechts oben ist das Ergebnis der Standardimpfung zu sehen. Wird kein Impfmittel zugegeben, beläuft sich die Graphitmenge auf 0,43 bzw. 0,77 Fl.-% bei einer Teilchendichte von 8,0 bzw. 12,6 T/mm². Bei Verwendung von SB5 wurden kurz vor dem Abstechen 300ppm (0,03 Mass.-%) Aluminium im Ofen

vorkonditioniert. Bei diesem Impfmittel wurde auch eine Zugabemenge von 0,2 Mass.-% sowie 0,7 Mass.-% getestet. Die Ergebnisse, sowie deren Übersichtsbilder sind in Abbildung 23 unten links bzw. rechts zu sehen. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu beachten, dass ohne Zugabe von Impfmittel ebenfalls Graphit (siehe selbe Abbildung links oben) ausgeschieden wird. Wird mit 0,2 Mass.-% SB5 geimpft, werden 1,80 Fl.-% bei 32,9 T/mm² in 21 mm Randabstand ausgeschieden. Eine auf 0,7 Mass.-% erhöhte Impfmittelmenge bedeutet einen Anstieg der Graphitmenge auf 2,9 Fl.-% (44,3 T/mm²).

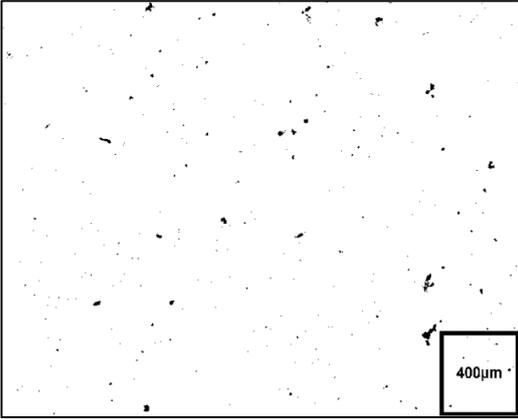
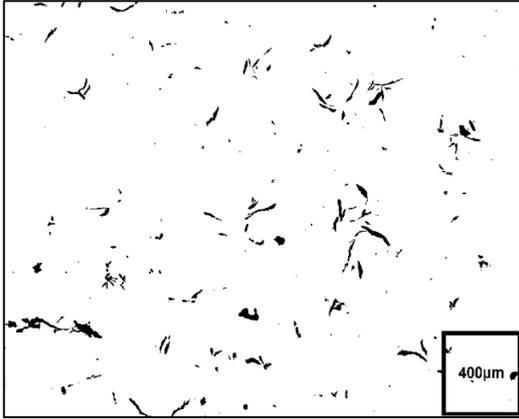
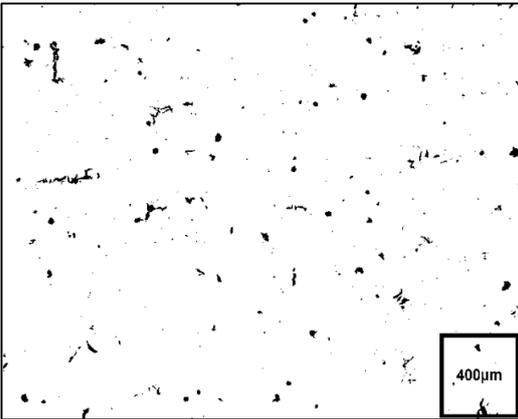
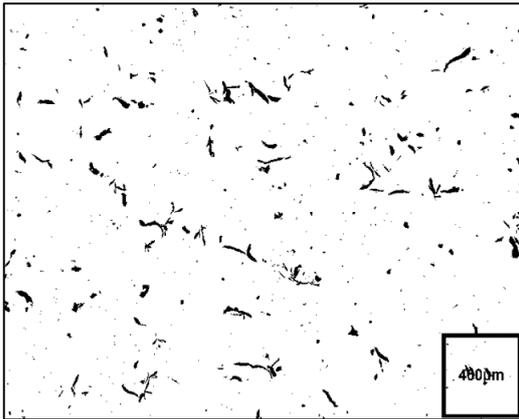
Kein Impfmittel (Nr. 0)						0,2% CaSi (Nr. 1)					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
0,43	8,0	0,82	0,77	12,6	0,76	2,00	24,4	0,70	2,10	24,1	0,66
0,2% SB5 (Nr. 2)						0,7% SB5 (Nr. 2)					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
1,40	25,9	0,73	1,80	32,9	0,68	2,40	41,1	0,69	2,90	44,3	0,69

Abbildung 23: Übersichtsbilder und Ergebnisse der Graphitmessung (links oben: Nr. 0, rechts oben: Nr. 1, links und rechts unten: Nr. 2).

4.1.2 Einzelne Elemente (Nr. 3-5)

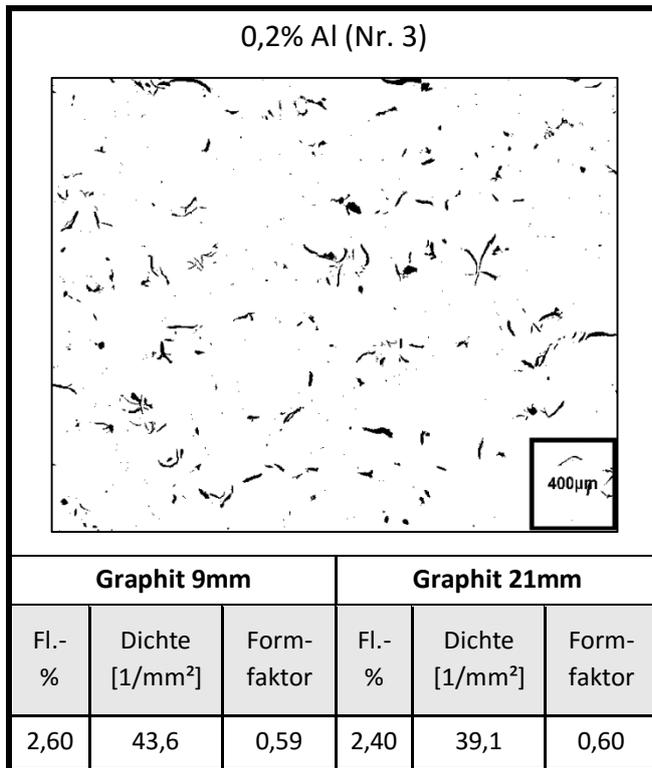


Abbildung 24: Übersichtsbild und Ergebnis der Graphitmessung von Aluminium.

Die Ergebnisse des Versuches mit Aluminium, sowie das Übersichtsbild sind in Abbildung 24 zu sehen. Der Graphitgehalt ist mit 2,60- bzw. 2,40 Fl.-% in der Größenordnung einer Impfung mit 0,7 Mass.-% SB5. Der Formfaktor lässt mit 0,60 auf eine lamellare Morphologie des Graphits schließen, was auch im Übersichtsbild deutlich zu erkennen ist. Auf einen Versuch mit 0,7 Mass.-% Aluminium als Impfmittel wurde verzichtet, da der Aluminiumgehalt der Fertigprobe (des Versuches mit einer Zugabemenge von 0,2 Mass.-%) bereits 0,26 Mass.-% betrug.

Die anderen impfwirksamen Elemente, seltene Erden und Zirkon, wurden mit

0,2 Mass.-% und 0,7 Mass.-% Zugabemenge getestet. Die Resultate der Versuche mit seltenen Erden (Nr. 4) zeigen deutlich, dass bei Erhöhung der Impfmittelmenge die Graphitausscheidung gehemmt bzw. fast zur Gänze unterdrückt wird (Abbildung 25 oben). Die Graphitwerte bei 0,7 Mass.-% (Nr. 4) sind sogar geringer als ohne Impfmittel (Nr. 0), siehe Abbildung 23 links oben. In 21 mm Randabstand ist im Vergleich zu Versuch Nr. 0 nur mehr knapp die Hälfte an Graphit vorhanden. Ein Unterschied in der Graphitmorphologie zwischen 0,2 und 0,7 Mass.-% (beide Nr. 4) ist zu erkennen: Die Morphologie ändert sich von tendenziell lamellarer (Formfaktor 0,61) zu nodularer Form (Formfaktor 0,80).

Zirkon als impfwirksames Element zeigt, im Gegensatz zu den seltenen Erden, mit zunehmender Menge eine bessere Wirkung (Abbildung 25 unten). Die Werte der Graphitmessung mit 0,2 Mass.-% FeZr (Nr. 5, Abbildung 25 unten) liegen nur etwas höher als die der Referenzprobe. Auffallend ist die geringe Teilchendichte von unter 20 T/mm² im Vergleich zu den bisher durchgeführten Versuchen. Diese Proben wurden mittels Rasterelektronenmikroskop (REM), siehe Kapitel 4.2, analysiert um Rückschlüsse auf die chemische Zusammensetzung der Keime zu erhalten. Ebenfalls ist die unterschiedliche Graphitform auffällig, in 21 mm Randabstand sind lamellare und nodulare Graphitpartikel zu sehen, wobei der Formfaktor bei beiden Versuchen denselben Wert zeigt.

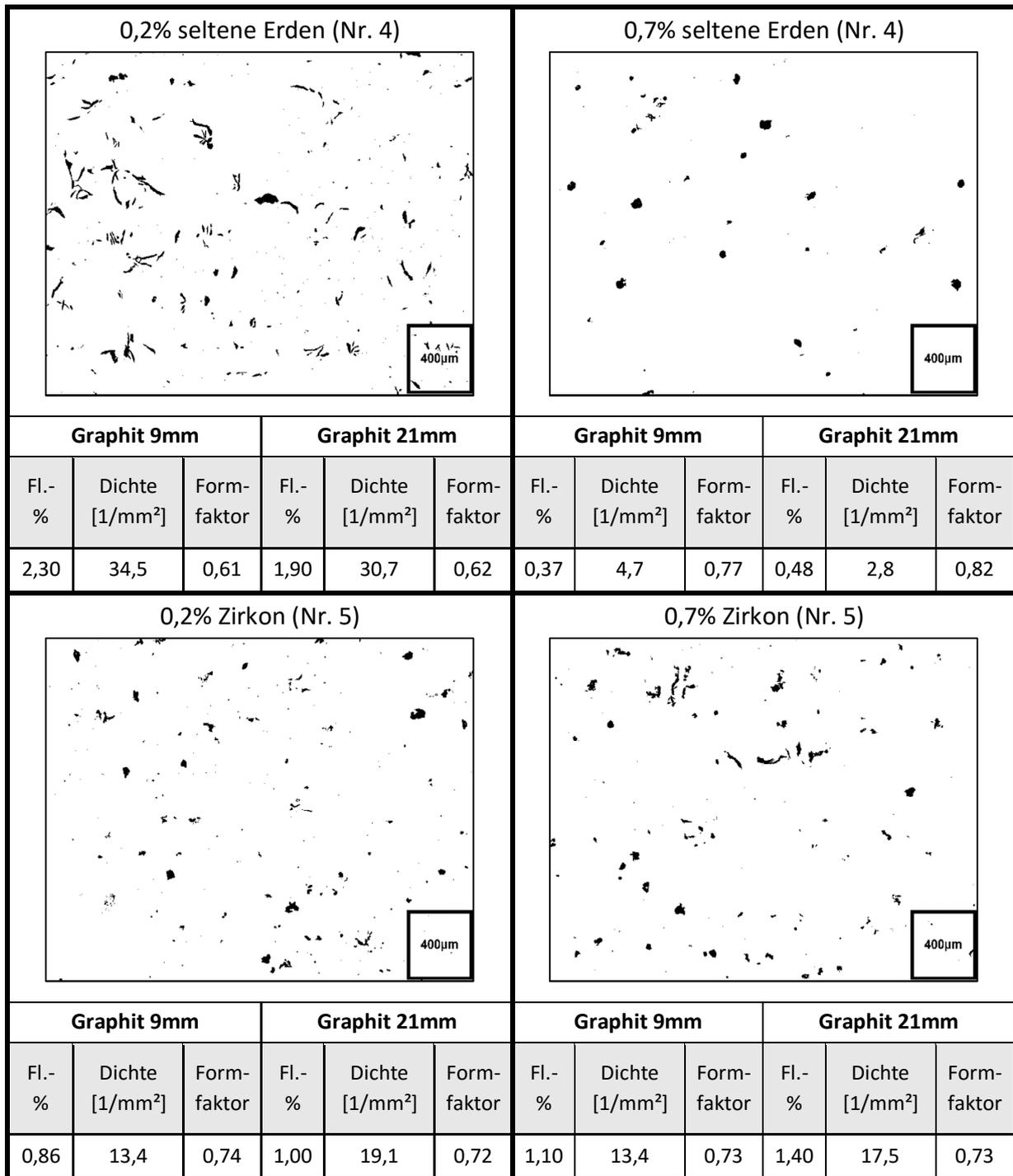


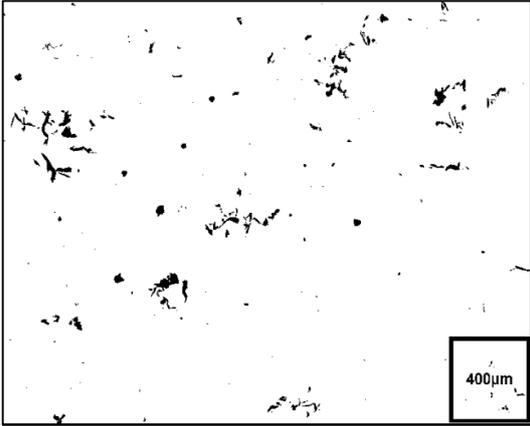
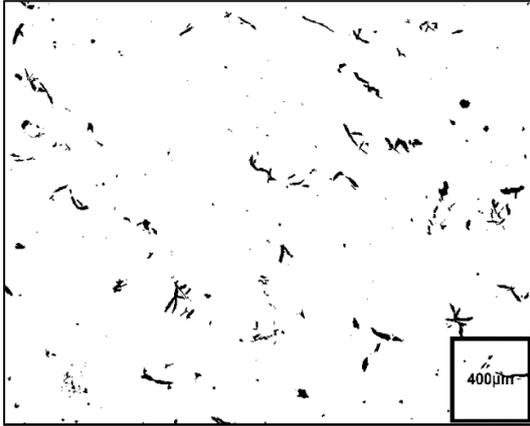
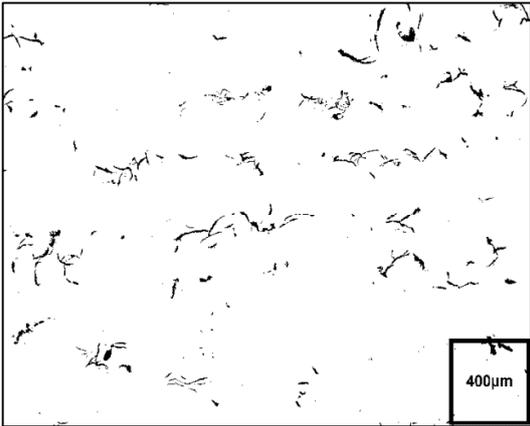
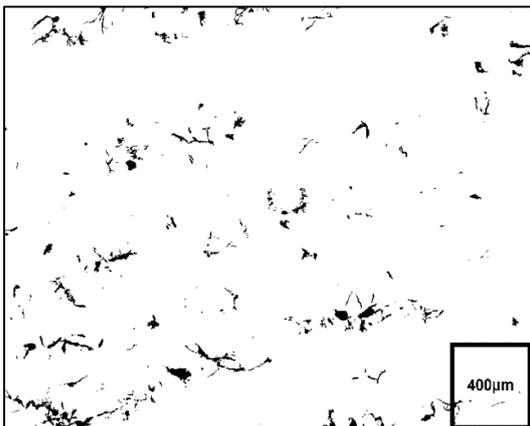
Abbildung 25: Übersichtsbilder und Ergebnisse der Graphitmessung (oben: seltene Erden, unten: Zirkon).

4.1.3 Aluminium und Kalzium (Nr. 6-8)

Bei den in dieser Reihe getesteten Impfmitteln ist ein einheitlicher Trend auszumachen, der Graphitgehalt steigt mit zunehmender Zugabemenge an (Abbildung 26). Impfmittel Nr. 8 besitzt im Vergleich zu den anderen nur FeSi75 als Trägerlegierung. CaSiMn (Impfmittel Nr. 6) enthält Si50 und Mn, LC Graphidox (Nr. 7) besteht aus FeSi55 und Ti.

Die unterschiedliche Form des Graphits der mit Nr. 7 geimpften Proben, im Vergleich mit Nr. 6 bzw. Nr. 8, ist deutlich in Abbildung 26 zu sehen. Bei Nr. 7 scheidet sich der Graphit in feineren Lamellen aus, bei Nr. 8 sind die Graphitteilchen augenscheinlich großflächiger, wohingegen bei Nr. 6 lamellare und nodulare Strukturen zu erkennen sind.

Der Graphitgehalt ist mit 2,10 (34,8 T/mm²) bzw. 2,40 Fl.-% (35,0 T/mm²) bei Zugabe von 0,7 Mass.-% (Nr. 7) am höchsten, wohingegen Nr. 6 (29,6 bzw. 28,0 T/mm²) und Nr. 8 (32,2 bzw. 29,4 T/mm²) ca. 2,00 Fl.-% Graphit in 21 mm Randabstand ausbilden.

0,2% CaSiMn (Nr. 6)						0,7% CaSiMn (Nr. 6)					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
1,40	22,7	0,67	1,50	26,2	0,65	2,00	29,6	29,6	1,90	28,0	0,68
0,2% LC Graphidox (Nr. 7)						0,7% LC Graphidox (Nr. 7)					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
1,80	30,6	0,57	1,80	32,5	0,56	2,10	34,8	0,54	2,40	35,0	0,55

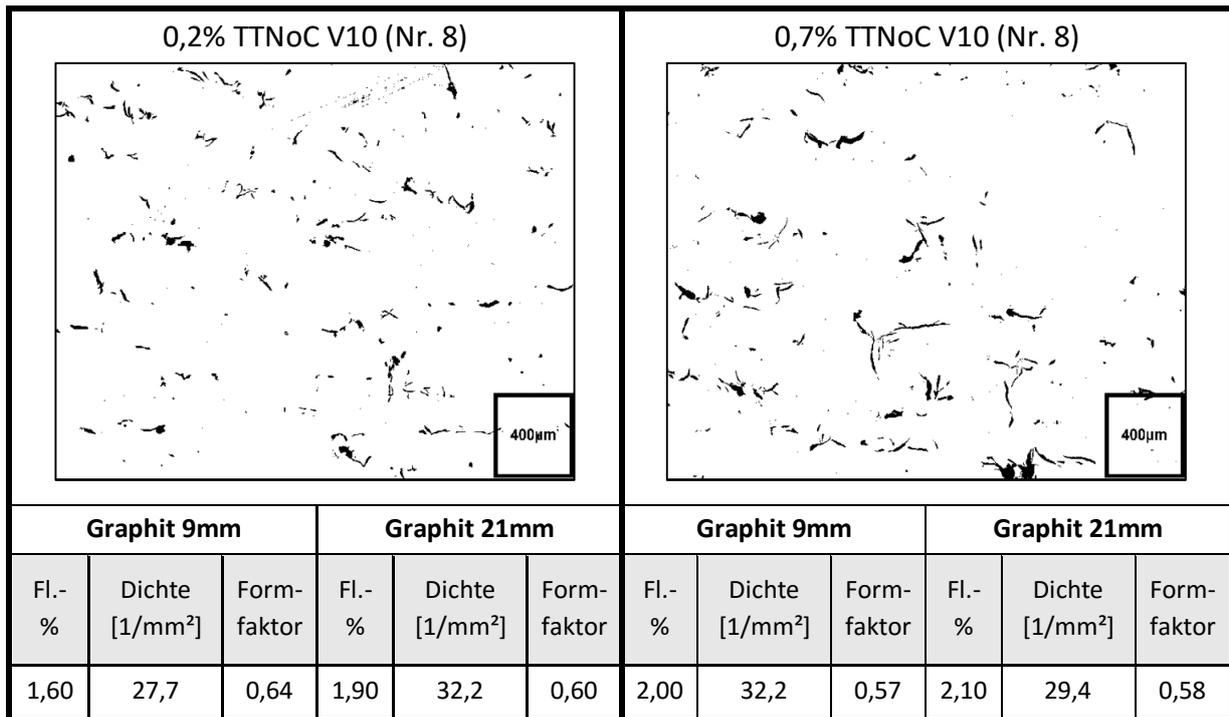


Abbildung 26: Übersichtsbilder und Ergebnisse der Graphitmessung (oben: CaSiMn, Mitte: LC Graphidox, unten: TTNoC V10).

4.1.4 Aluminium, Kalzium und Barium (Nr. 9-11)

Impfmittelkombinationen mit Aluminium, Kalzium und Barium wirken für den untersuchten ICDP-Werkstoff sehr gut (Abbildung 27). Den Ergebnissen der Impfmittel Nr. 9-11 nach sinkt die Graphitausbringung mit steigendem Bariumgehalt. Bei diesen Impfmitteln sind die Anteile an Aluminium und Kalzium beinahe gleich (Tabelle 3), lediglich der Bariumgehalt ist erhöht. Impfmittel Nr. 9 erzielte mit 2,90 Fl.-% Graphit in 21 mm Randabstand einen der höchsten Werte der gesamten Serie 1.

Im Unterschied zu den Impfmitteln Nr. 10 und Nr. 11 konnte bei Nr. 9 keine Steigerung des Graphits mit erhöhter Zugabemenge erzielt werden. In beiden erstgenannten Fällen stiegen die Gesamtmenge und Teilchendichte an, der Formfaktor blieb ähnlich. Die Graphitverteilung ist bei Nr. 10 augenscheinlich am homogensten ausgebildet, Nr. 9 und Nr. 10 zeigen Bereiche mit lokal erhöhter Graphitbildung (Abbildung 27).

Vergleicht man die Ergebnisse des Impfmittels Nr. 2 mit jenen der Nr. 9 ist zu erkennen, dass die Resultate gegenläufig sind: Die Ergebnisse der Nr. 2 mit 0,7 Mass.-% ähneln dem Ergebnis von Nr. 9 mit 0,2 Mass.-% und umgekehrt. Die chemische Zusammensetzung von Nr. 9 und Nr. 2 unterscheidet sich lediglich um je 0,5 Mass.-% Aluminium und Kalzium und 0,7 Mass.-% Barium (Tabelle 3). Auch die Graphitform ist unterschiedlich. So sind in den Übersichtsbildern von Nr. 2 lamellare und nodulare Graphitteilchen zu sehen. Bevorzugte Ausscheidungszone, wie bei Nr. 9 zu sehen, liegen nicht vor. Die Teilchendichte und der Formfaktor sind auf einem gleichen Niveau.

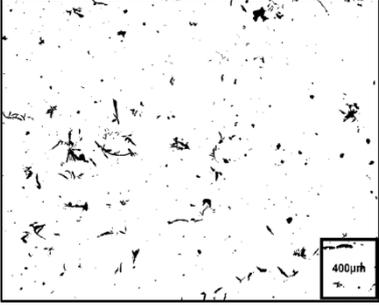
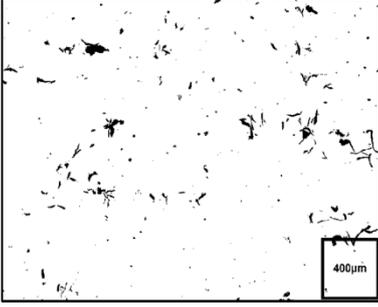
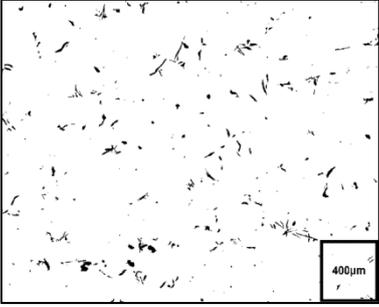
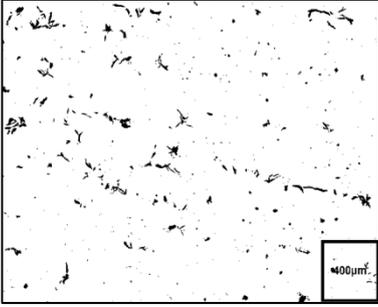
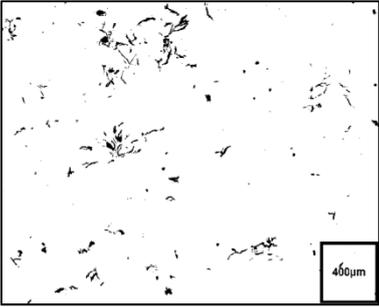
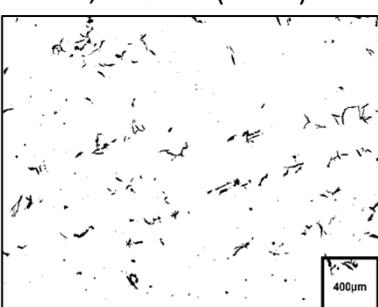
0,2% TTNoC Cb07 (Nr. 9)						0,7% TTNoC Cb07 (Nr. 9)					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
2,20	37,9	0,67	2,90	44,8	0,66	2,40	32,4	0,65	2,20	34,1	0,67
0,2% TTNoC Cb09 (Nr. 10)						0,7% TTNoC Cb09 (Nr. 10)					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
1,60	27,9	0,66	1,60	34,1	0,64	2,10	32,7	0,70	2,50	40,8	0,67
0,2% SB10 (Nr. 11)						0,7% SB10 (Nr.11)					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
1,10	24,4	0,62	1,60	28,3	0,61	2,30	31,5	0,65	2,30	34,9	0,65

Abbildung 27: Übersichtsbilder und Ergebnisse der Graphitmessung (oben: TTNoC Cb07, Mitte: TTNoC Cb09, unten: SB 10).

4.1.5 Aluminium, Kalzium und seltene Erden (Nr. 12-13)

Die in den Versuchen Nr. 12 und Nr. 13 ermittelten Ergebnisse zeigen grundsätzlich ähnliche Tendenzen zu den Versuchen des Impfmittels Nr. 4. Bei Impfmittel Nr. 12 nimmt von 0,2 Mass.-% auf 0,7 Mass.-% die Graphitmenge zu und erreicht einen Maximalwert 2,30 Fl.-% Graphit bei einer Teilchendichte von 34,2 T/mm², die Form des Graphits ist zum Großteil lamellar, siehe Abbildung 28 oben. Bei 0,7 Mass.-% des Impfmittels Nr. 13 wird kaum noch Graphit ausgeschieden, und die Form des Graphits ändert sich zu nodular. Die Resultate gleichen jenen der Versuche ohne Impfmittel (Nr. 0).

0,2% TTNoC T05 (Nr. 12)						0,7% TTNoC T05 (Nr. 12)					
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor
1,80	29,7	0,60	1,60	29,9	0,60	1,90	31,2	0,62	2,30	34,2	0,62
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor
2,50	34,5	0,66	2,30	30,8	0,64	0,44	4,3	0,80	0,85	6,1	0,81

Abbildung 28: Übersichtsbilder und Ergebnisse der Graphitmessung (oben: TTNoC T05, unten: TTNoC T08).

4.1.6 Aluminium, Kalzium, Strontium und Zirkon (Nr. 14-17)

In Abbildung 29 ist der Vergleich von Nr. 14 und Nr. 17 zu sehen. Der Graphitanteil mit 1,80 bzw. 2,00 Fl-% sowie die Teilchendichte mit ca. 30 T/mm² und der Formfaktor (0,65) sind ähnlich. Bei Impfmittel Nr. 14 konnte keine Steigerung des Graphits mit zunehmender Impfmittelmenge erzielt werden.

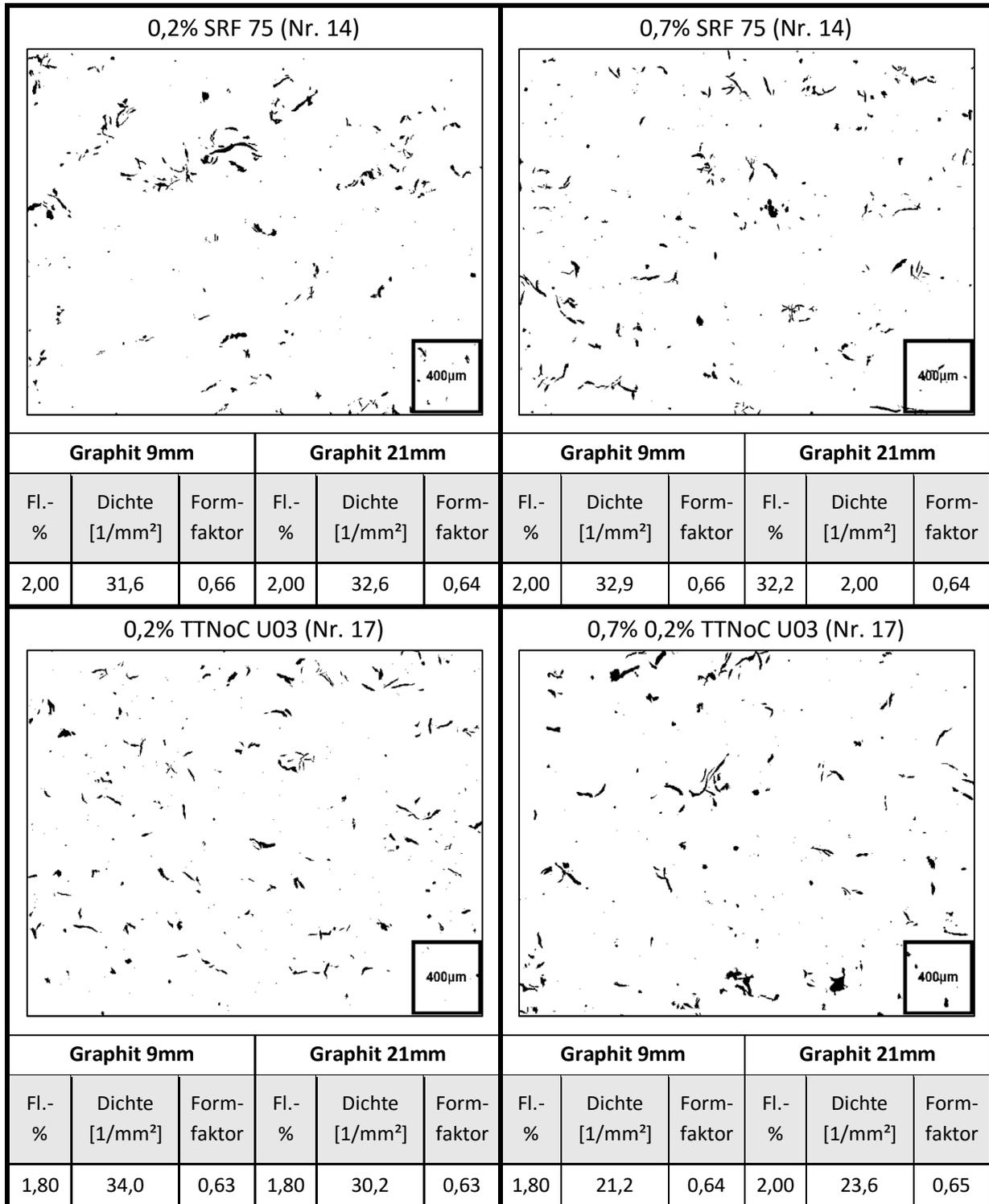


Abbildung 29: Übersichtsbilder und Ergebnisse der Graphitmessung (oben: SRF 75, unten: TTNoC U03).

Bei Impfmittel Nr. 15 und Nr. 16 sind mit zunehmendem Anteil an Zirkon keine nennenswerten Steigerungen in Bezug auf Graphitanteil und Teilchendichte auszumachen. Auffällig ist die unterschiedliche Graphitform, siehe Abbildung 30.

Bei einer Impfung von 0,2 Mass.-% Impfmittel Nr. 15 sind hauptsächlich lamellare Graphitpartikel auszumachen, mit 2,30 Fl.-% und 26,5 T/mm² wurden die besten Werte dieser Versuchsreihe erzielt. Bei 0,7 Mass.-% Impfmittel Nr. 15 bildet sich der Graphit ausschließlich kugelig aus. Bei 0,7 Mass.-% Impfmittel Nr. 16 werden die Partikel größer und die Graphitausscheidungen ähneln dem Vermiculargraphit (Kapitel 2.3.2).

0,2% TTNoC Cz10 (Nr. 15)						0,7% TTNoC Cz10 (Nr. 15)					
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor
2,20	28,7	0,66	2,30	26,5	0,68	1,80	25,5	0,75	1,80	29,5	0,79
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form-faktor
1,80	26,2	0,61	2,10	26,7	0,60	1,90	23,8	0,66	1,80	25,7	0,66

Abbildung 30: Übersichtsbilder und Ergebnisse der Graphitmessung (oben: TTNoC Cz10, unten: Inoculin 25).

4.1.7 Sondervarianten (Nr. 18-20)

In Abbildung 31 ist oben das Ergebnis von Impfmittel Nr. 18, einem Impfmittel mit fünf verschiedenen impfwirksamen Elementen zu sehen, bereits bei einer Zugabemenge von 0,2 Mass.-% werden 2,40 Fl.-% Graphit ausgeschieden. Ein Vergleich der Resultate des Impfmittels Nr. 18 mit Nr. 19 lässt einen Übergang der Graphitform von tendenziell lamellarer Struktur zu einer Kombination aus lamellarer und nodularer Struktur bis hin zu kugeligem Form erkennen. Allgemein ist die Graphitbildung in Impfmittel Nr. 19 jedoch weitaus schlechter ausgeprägt, sowohl in Gesamtmenge als auch in Teilchendichte.

0,2% Inoculin 440 (Nr. 18)						0,7% Inoculin 440 (Nr. 18)					
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
2,40	41,7	0,55	2,40	34,2	0,57	2,00	34,4	0,59	2,00	37,9	0,58
0,2% SMW 605 (Nr. 19)						0,7% SMW 605 (Nr. 19)					
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
1,50	26,3	0,61	1,70	29,9	0,60	0,43	8,1	0,78	0,68	9,8	0,74

Abbildung 31: Übersichtsbilder und Ergebnisse der Graphitmessung (oben: Inoculin 25, unten: SMW 605).

Die Ergebnisse des Impfmittels Nr. 20, siehe Abbildung 32, fielen mit einem maximalen Graphitanteil von 1,60 Fl.-% unterdurchschnittlich aus, ebenso war die Teilchendichte mit maximal 25,7 T/mm² relativ niedrig.

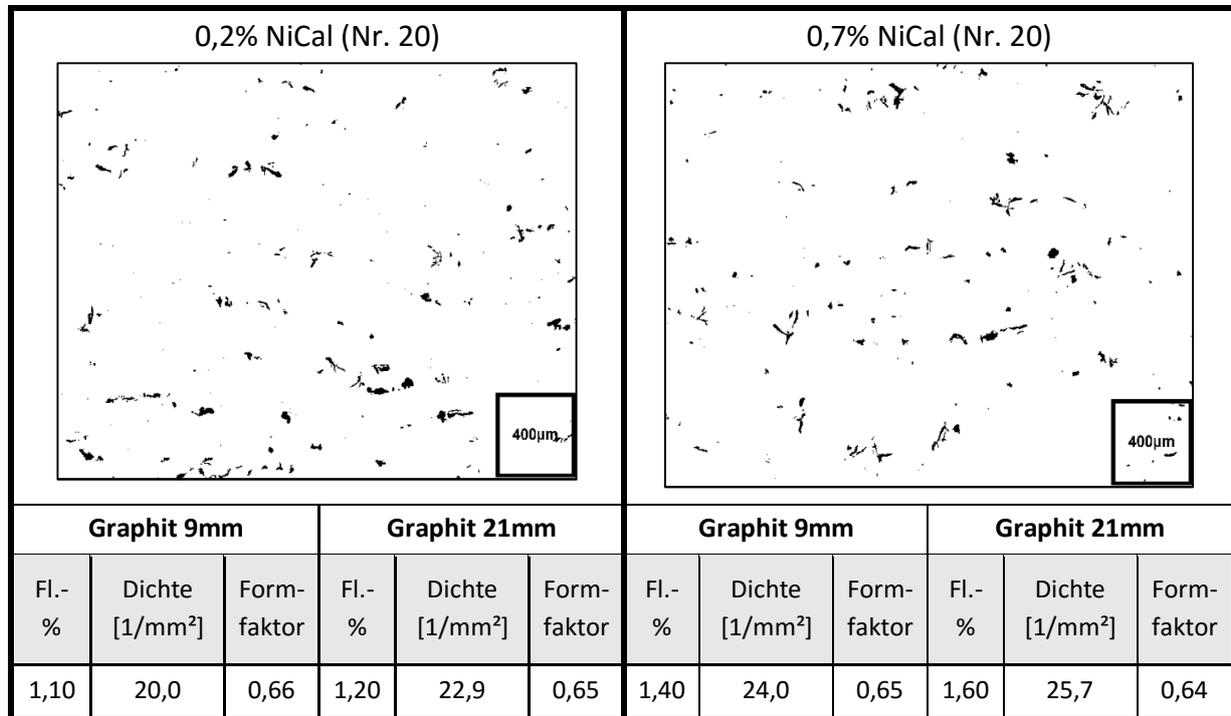


Abbildung 32: Übersichtsbilder und Ergebnisse der Graphitmessung von NiCal.

4.2 Rasterelektronenmikroskopische Analyse

Bei Proben, die mit Impfmittel Nr. 5 und Nr. 13 behandelt wurden, wurde zusätzlich noch eine rasterelektronenmikroskopische (REM) Analyse durchgeführt. Es wurde versucht, graphitbildende Keime zu finden und deren chemische Zusammensetzung mittels EDX zu bestimmen. Die verschiedenen EDX-Spektren der Proben sind in Kapitel 10.3 bis 10.6 zu sehen.

4.2.1 0,2 Mass.-% FeZr (Nr. 5)

In Abbildung 33 oben ist ein repräsentativer Graphitkeim dargestellt. Zu erkennen ist der Keim (grau), der von Graphit (schwarz) eingeschlossen ist. Das Bild wurde in vier separate Bereiche unterteilt, welche jeweils mittels EDX analysiert wurden. Der Keim (Spektrum 4) ist ein Niob-/Vanadium-Mischkarbid mit höherem Niob-Anteil, siehe EDX Spektrum (Abbildung 33 unten). Es wurden keine Keime, in denen Zirkon enthalten war, gefunden.

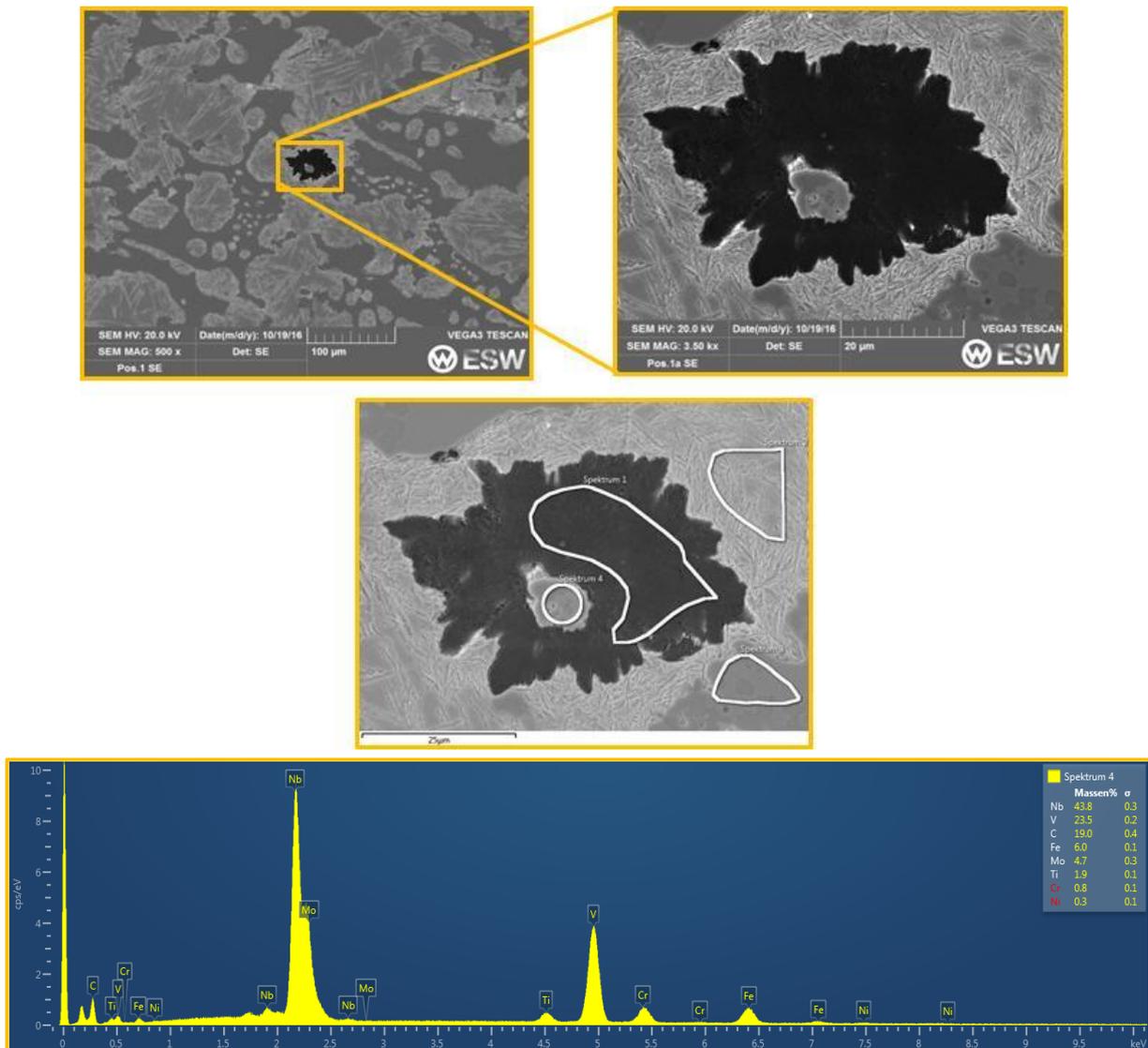


Abbildung 33 REM/BSE Aufnahme (oben) der Probe mit 0,2 Mass.-% Impfmittel Nr. 2 sowie zugehöriges EDX-Spektrum.

4.2.2 0,7 Mass.-% FeZr (Nr. 5)

Ebenfalls ist in Abbildung 34 oben der graphitbildende Keim (ebenfalls grau) zu erkennen. Es handelt es sich auch hierbei um ein Niob/Vanadium-Mischkarbid, in diesem Fall jedoch mit höherem Vanadium-Anteil, wie das EDX-Spektrum zeigt (Abbildung 34 unten). Auch in diesem Fall wurden keine Keime, in denen Zirkon enthalten war, gefunden.

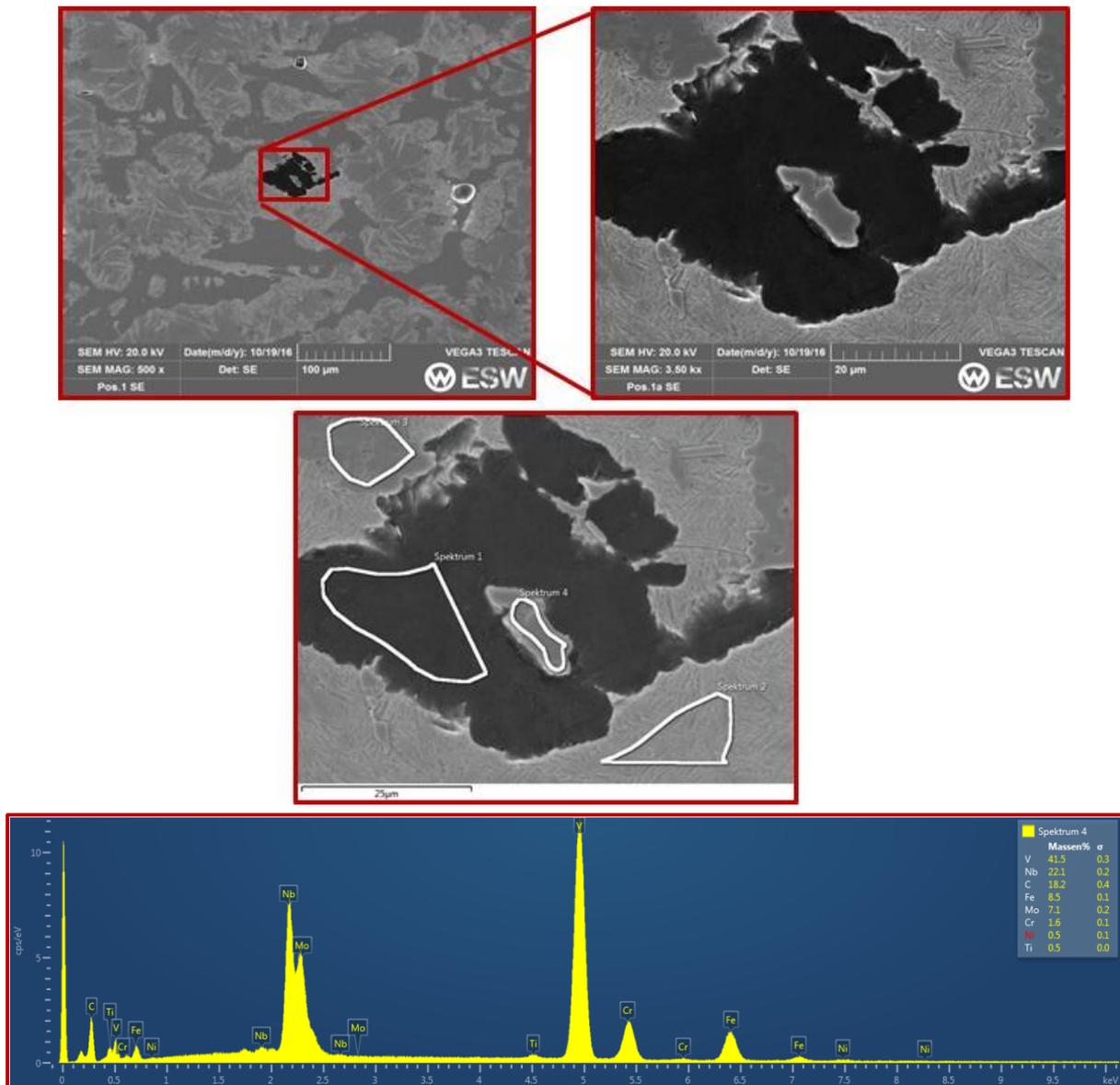


Abbildung 34: REM/BSE Aufnahme (oben) der Probe mit 0,7 Mass.-% Impfmittel Nr. 5 sowie zugehöriges EDX-Spektrum.

4.2.3 0,2 Mass.-% TTNOC T08 (Nr. 13)

In Abbildung 35 ist der Keim in den dunklen Graphitausscheidungen zu erkennen (siehe gelbe Markierung). In diesem Fall handelt es sich bei dem hell erscheinenden Punkt um ein Mischkarbid, das Cer und Lanthan enthält. Die Graphitausscheidungen sind von grauen (Matrix) und dunkelgrauen Bereichen (Zementit) umgeben. Nahezu alle Graphitteilchen, bei

denen metallische Partikel gefunden wurden, enthielten nach dem EDX-Spektrum Anteile an seltenen Erden.

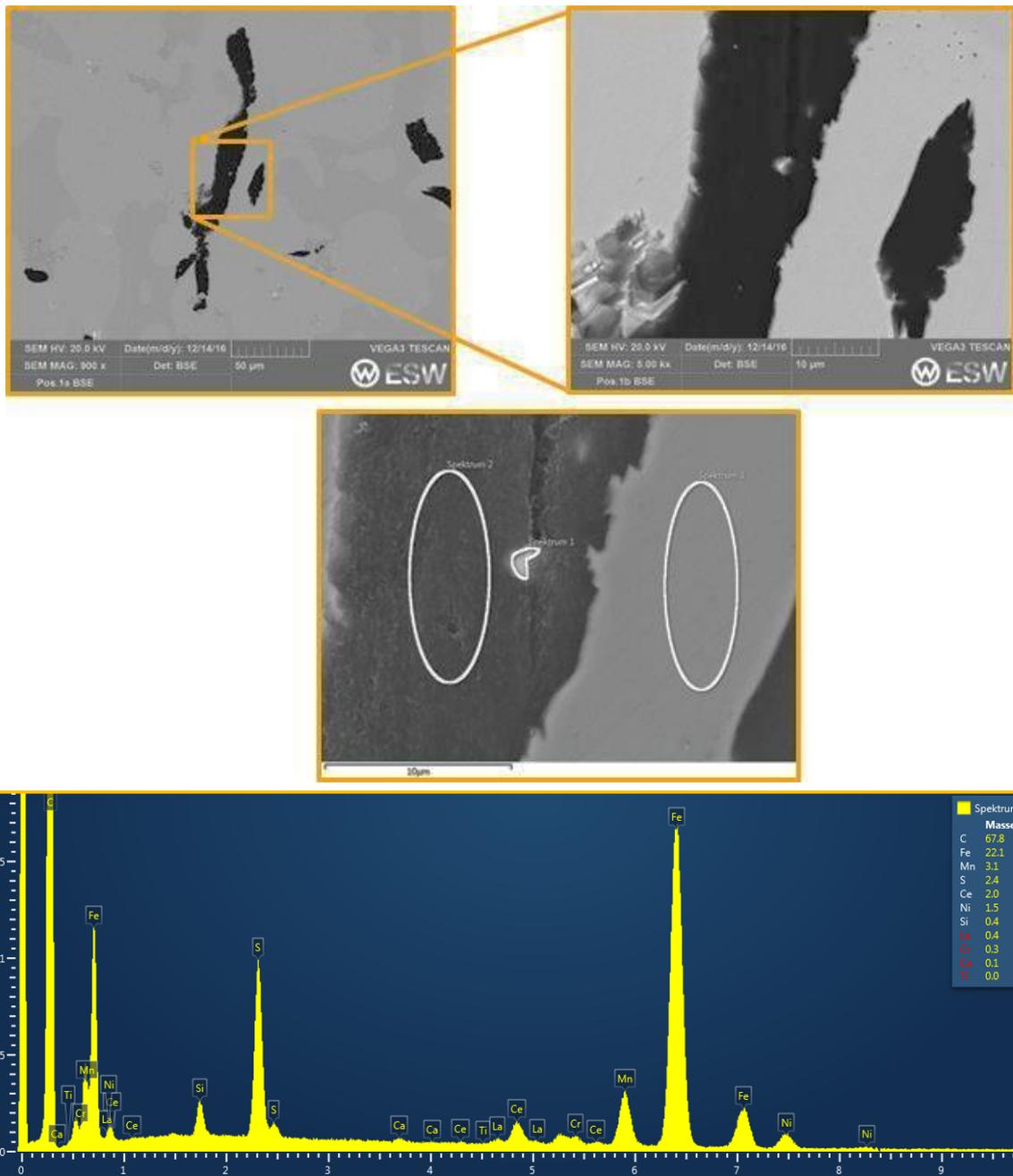


Abbildung 35: oben: REM/BSE Aufnahme (oben) der Probe mit 0,2 Mass.-% Impfmittel Nr. 13 sowie zugehöriges EDX-Spektrum.

4.2.4 0,7 Mass.-% TTNoC T08 (Nr. 13)

In Abbildung 36 sind ebenfalls metallische Partikel in den dunklen Graphitausscheidungen zu erkennen (siehe rote Markierung). In diesem Fall handelt es sich bei den Keimen um hochvanadiumhaltige Mischkarbide. Die Graphitausscheidungen sind ebenfalls von Matrix und Zementit umgeben. Es wurden in diesen Proben keine Partikel gefunden, die Cer bzw. Lanthan enthalten.

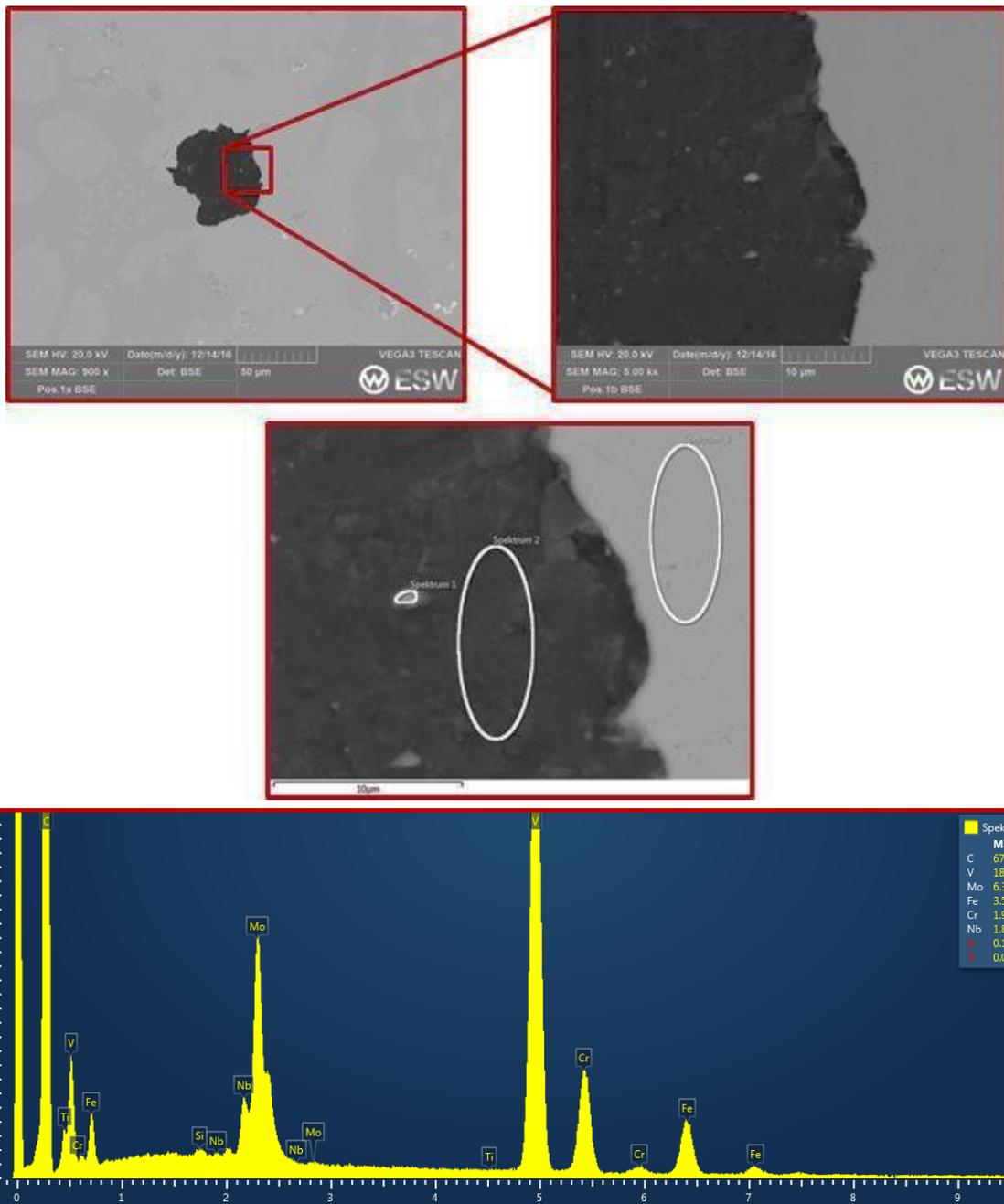


Abbildung 36: REM/BSE Aufnahme (oben) der Probe mit 0,7 Mass.-% Impfmittel Nr. 13 sowie zugehöriges EDX-Spektrum.

4.3 Serie 2: Bestätigung/Reproduzierbarkeit

Um die Reproduzierbarkeit der Versuche zu bestätigen, wurden ausgewählte Impfmittel (Tabelle 4) in Serie 2 erneut getestet. In Tabelle 10 sind die Ergebnisse der ersten und der zweiten Serie gegenübergestellt, detaillierte Informationen zur zweiten und dritten Serie sind im Anhang zu finden. Aufgrund des starken Randeinflusses in 9 mm Tiefe weichen diese Werte stärker voneinander ab. Für die Versuche sind die Werte in 21 mm Randabstand von größerer Relevanz als jene in 9 mm. Die Reproduzierbarkeit in dieser Tiefe konnte bestätigt werden. Das Impfmittel mit der Handelsbezeichnung SB 10 war das einzige, das um 0,4 Fl.-% mehr Graphit aufwies als in Serie 1, alle anderen weichen maximal 0,2 Fl.-% voneinander ab.

Tabelle 10: Ergebnisse der ersten und zweiten Serie.

Impfmittel	Serie	Graphit 9mm			Graphit 21mm		
		Fl.-%	Dichte [1/mm ²]	Formfaktor	Fl.-%	Dichte [1/mm ²]	Formfaktor
Kein Impfmittel	1	0,43	8,0	0,82	0,77	12,6	0,76
	2	1,10	20,6	0,55	1,10	22,6	0,58
CaSi	1	2,00	24,4	0,70	2,10	24,1	0,66
	2	2,00	35,0	0,60	2,20	29,4	0,62
SB5	1	1,40	25,9	0,73	1,80	32,9	0,68
	2	1,90	33,4	0,59	2,00	29,5	0,61
Al	1	2,60	43,6	0,59	2,40	39,1	0,60
	2	2,20	30,1	0,60	1,90	28,1	0,64
TTNoC Cb07	1	2,20	37,9	0,67	2,90	44,8	0,66
	2	3,00	29,7	0,66	2,80	28,7	0,65
SB10	1	2,30	31,5	0,65	2,30	34,9	0,65
	2	2,50	39,3	0,64	2,70	37,3	0,65
TTNoC Cz10	1	2,20	28,7	0,66	2,30	26,5	0,68
	2	2,30	30,6	0,67	2,40	33,3	0,66
Inoculin 440	1	2,40	41,7	0,55	2,40	34,2	0,57
	2	2,10	32,9	0,61	2,50	31,2	0,62

4.4 Serie 3: Kombinationen

In dieser Versuchsserie wurden Impfmittel mit unterschiedlichen impfwirksamen Elementen kombiniert, um die Graphitausbringung zu maximieren. Die Ergebnisse der dritten Serie sind

in Tabelle 11 zu sehen. Eine Steigerung der Graphitmenge im Vergleich zu den singulären Anwendungen der Impfmittel (Serie 1 bzw. 2) konnte nicht in allen Fällen erreicht werden (A-C und G-L). Die höchsten Werte zeigten die Kombinationen D, E, F, wobei F mit 3,00 Fl.-% Graphit in 21 mm Randabstand den Maximalwert aus allen Untersuchungen aufweist.

Tabelle 11: Ergebnisse der dritten Serie.

Bez.	Impfmittel	Menge	Graphit 9mm		Graphit 21mm	
			Fl.-%	Dichte [1/mm ²]	Fl.-%	Dichte [1/mm ²]
A	Inoculin 440 Inoculin 25	0,2 %	1,70	28,9	2,00	30,5
		0,2 %				
B	SB 10 TTNoC V10	0,2 %	2,20	32,4	2,30	31,9
		0,2 %				
C	TTNoC T05 Inoculin 25	0,2 %	2,20	25,7	2,00	30,0
		0,2 %				
D	CaSi Inoculin 25	0,2 %	2,40	31,2	2,50	36,8
		0,2 %				
E	TTNoC Cb07 TTNoC T05	0,2 %	2,60	34,5	2,60	31,6
		0,2 %				
F	TTNoC V10 TTNoC T05	0,2 %	2,50	35,1	3,00	37,1
		0,2 %				
G	TTNoC Cb07 CaF ₂	0,2 %	2,20	37,3	1,90	32,9
		0,12 %				
H	SB 10 CaF ₂	0,2 %	1,90	34,7	1,70	33,4
		0,12 %				
I	Inoculin 25 CaF ₂	0,2 %	2,10	28,4	2,10	27,4
		0,12 %				
J	TTNoC Cb07 Al	0,2 %	2,00	34,2	1,90	33,9
		0,03 %				
K	SB 10 Al	0,2 %	2,00	34,2	2,00	34,0
		0,03 %				
L	Inoculin 25 Al	0,2 %	1,90	22,1	1,80	22,1
		0,03 %				

5 Diskussion der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse analysiert und mit der Literatur verglichen.

5.1 Kein Impfmittel (Nr. 0)

Überraschend wurden 0,77 Fl.-% Graphit ohne Zugabe von Impfmittel ausgebildet. Die Zugabe von Ferrosilizium mit 75 Mass.-% Silizium (=FeSi75) kurz vor dem Abstich könnte nach [35] der Grund dafür sein. Aus prozesstechnischen Gründen konnte auf das Auflegieren mit FeSi nicht verzichtet werden. Nach [36] sind FeSi75 Legierungen mit geringen Mengen an Aluminium und Kalzium verunreinigt. Für [31] und [14] ist das Vorhandensein eines impfwirksamen Elements, wenn auch nur in ganz geringer Konzentration, der ausschlaggebende Punkt für eine Impfwirkung. Die größten Abweichungen waren in 9 mm Randabstand zu erkennen, jedoch sind diese aufgrund des Randeinflusses weniger aussagekräftig als die Werte in 21 mm.

5.2 0,2% CaSi (Nr. 1)

Die abweichende Graphitform zwischen einer Walze und der Stegprobe ist durch die unterschiedliche Erstarrung zu erklären. Während der Mantel einer Walze hauptsächlich globular erstarrt, bildet sich in der Stegprobe eine deutlich dendritische Struktur aus (Kapitel 2.4). Der größte Unterschied ist das Gießverfahren: während bei den Walzen durch die Rotation der Schleudergusskokille hohe Fliehkräfte wirken, erstarrt die Schmelze bei den Stegproben statisch. Typischerweise werden in Walzen mit diesem Impfmittel Graphitgehalte um 2,1 Mass.-% erreicht; diese Werte konnten auch in den Laborversuchen gemessen werden.

Untersuchungen in [37] ergaben, dass reines Kalzium und CaSi für normales Gusseisen eine hohe Impfwirkung zeigt. Dieses Ergebnis konnte mit Impfmittel Nr. 1 bestätigt werden. Weiters konnte in [37] erwiesen werden, dass SiO₂ vorhanden sein muss, welches vorwiegend nach der Oxidkeimtheorie Kapitel 2.6.2 aus dem Luftsauerstoff entstehen sollte.

5.3 SB5 (Nr. 2)

Bei diesem Impfmittel ist ein klarer Trend zu erkennen, mit zunehmender Impfmittelmenge steigt die Graphitausbringung beträchtlich an. Bei den Versuchen wurde eine Steigerung des Graphits um ca. 60%, zwischen 0,2- und 0,7 Mass.-% Impfmittelzugabe, erzielt. Auch die Teilchendichte stieg um 58% an. Nach [24] wird bei bariumhaltigen Impfmitteln ein hexagonales Sulfid nach der Sulfidkeimtheorie (Kapitel 2.6.1) gebildet. Daher benötigt Barium Aluminium und Kalzium als Reaktionspartner. Die Dichten der Reaktionsprodukte

sind unterschiedlich (siehe Kapitel 2.7), Bariumoxid besitzt eine höhere Dichte als Aluminium- bzw. Kalziumoxid, jedoch sind die Dichten aller drei Oxide geringer als das flüssige Eisen (ca. 7 g/cm³). Diese Reaktionsprodukte steigen je nach Dichte unterschiedlich schnell auf. Je langsamer diese Keime aufsteigen, desto länger können diese Keime wirksam sein.

5.4 Aluminium (Nr. 3)

Aufgrund der hohen Affinität zu Sauerstoff bildet Aluminium eine Vielzahl an Oxidteilchen. Damit ist die Wahrscheinlichkeit, dass es zu einer Keimbildung (nach der Oxidkeimtheorie Kapitel 2.6.2 (Seite 17)) kommt, sehr hoch. Mit 2,40 Fl.-% Graphit und einer Teilchendichte von knapp 40 liegt diese Impfung im vorderen Feld. Die bereits erwähnte geringe Dichte der Oxide bewirkt, dass die wirksamen Keime rasch an die Oberfläche steigen und die Impfwirkung schnell verloren geht (siehe [31]). Auf einen Versuch mit 0,7 Mass.-% Aluminium wurde verzichtet, da [38] eine Zugabemenge von 0,2 Mass.-% als Maximalwert für den positiven Einfluss des Aluminiums festgestellt hat.

5.5 Seltene Erden (Nr. 4)

Bei den seltenen Erden nimmt die Graphitausbringung mit steigender Impfmittelmenge rapide ab. Ebenso ändert sich die Form des Graphits. Die Graphitmenge bei 0,7 Mass.-% Impfmittel Nr. 4 entspricht jener ohne Impfmittel. In [33, 39] wurde festgestellt, dass übermäßige Verwendung von seltenen Erden eine Graphitentartung (Bildung von Chunkygraphit) verursacht. Dies konnte mit unseren Versuchen nicht bestätigt werden, die Graphitausscheidung wurde zum Teil ganz unterdrückt. Bei zunehmender Impfmittelmenge änderte sich die Form des Graphites, von Lamellengraphit bei geringer Impfmittelmenge zu Kugel- bzw. Vermiculargraphit, wie [33] ebenfalls feststellte. Die hohe Affinität zu Sauerstoff und Schwefel, kombiniert mit einer hohen Dichte der Reaktionsprodukte, bewirkt einen langen und konstanten Impfeffekt [40, 41]. Diese Impfmittelart eignet sich bei längeren Haltezeiten, da die Reaktionsprodukte nur sehr langsam in die Schlacke aufsteigen und dadurch einen langen und konstanten Impfeffekt aufweisen.

5.6 Zirkon (Nr.5)

Zirkon ohne zusätzliches impfwirksames Element zeigt mit zunehmender Impfmittelmenge eine steigende Graphitausbringung. Versuche, in denen das Impfmittel neben Zirkon auch andere impfwirksame Elemente enthielt, führte [42] mit Al und Ca bzw. [26] mit SiZr, CaSiZr und FeZr durch. Letztere konstatierten, dass eine Zirkon-Zugabe in Form einer Primär-Desoxidation auf die Kieselsäureausfällung (SiO₂) wirkt und damit hauptsächlich Keime nach der Oxidkeimtheorie bildet (Kapitel 2.6.2). [26] wies darauf hin, dass eine Impfung mit Zirkon

als die wirkungsvollste Desoxidation hinsichtlich der Kieselsäureausfällung anzusehen ist. Zirkon kann mit Sauerstoff, Schwefel und Stickstoff Verbindungen eingehen, siehe Tabelle 12. Da jedes System nach dem Zustand geringster freier Enthalpie (Gibbs-Energie) strebt, ist die Verbindung mit Sauerstoff tendenziell am stabilsten (Tabelle 12) [41]. Zirkonnitrid oder Zirkonsulfid können als Keime trotzdem nicht ausgeschlossen werden.

Tabelle 12: Freie Standard-Bildungsenthalpien von Zirkon in Gusseisenschmelzen bei unterschiedlichen Temperaturen [41].

Reaktion	800 K [kJ/mol]	1300 K [kJ/mol]	1800 K [kJ/mol]	2300 K [kJ/mol]
$\text{Zr} + \text{O}_2 \rightarrow \text{ZrO}_2$	-944,714	-852,953	-763,564	-673,886
$\text{Zr} + \text{S}_2 \rightarrow \text{ZrS}_2$	-548,033	-469,520	-383,194	
$\text{Zr} + \text{N} \rightarrow \text{ZrN}$	-289,821	-244,531	-199,644	-154,213

Eine REM-Untersuchung ergab, dass in beiden Fällen (bei 0,2- und 0,7 Mass.-% Impfmittelzugabe) ein Mischkarbid aus Niob und Vanadium als Keim gewirkt haben könnte (Kapitel 4.2.1). Laut Feistritzer [43] agieren diese Mischkarbide als Keime für die Graphitausscheidung.

5.7 Aluminium und Kalzium (Nr. 6-8)

Bei den Impfmitteln mit Aluminium und Kalzium ist ein klarer Trend zu erkennen. Erhöht man die Impfmittelmenge, erhöht sich die Graphitmenge. Der Anteil an Aluminium bzw. Kalzium spielt in Bezug auf die Graphitausscheidung eine große Rolle. Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang auch die Art der Trägersubstanz (Nr. 6: Si50 Mn20, Nr. 7: FeSi55 Ti10 und Nr. 8: FeSi75). Bei Impfmittel Nr. 6 ist im Vergleich mit den anderen Impfmitteln (Nr. 7 und Nr. 8) die Graphitausbringung am geringsten, obwohl Impfmittel Nr. 6 den höchsten Anteil an impfwirksamen Elementen (30% Kalzium und 2% Aluminium) aufweist. Die unterschiedlichen Trägersubstanzen könnten der Grund für die unterschiedliche Graphitmenge sein, da die erforderlichen impfwirksamen Elemente zur Graphitkeimbildung, nach [20], in den Impfmitteln vorhanden sind.

5.8 Aluminium, Kalzium und Barium (Nr.9-11)

Impfmittelkombinationen mit Aluminium, Kalzium und Barium wirken für den untersuchten Mantelwerkstoff sehr gut. Das Impfmittel Nr. 9 erzielte die besten Ergebnisse. Nach der Sulfidkeimtheorie (Kapitel 2.6.1) wächst um den Kern aus Kalziumsulfid eine Silikatschicht die mit Erdalkalielementen, wie Barium, und Aluminium reagieren muss, damit sich Graphit ausscheidet. Der Anteil an Aluminium bei steigenden Barium-Gehalten ist in den Impfmitteln Nr. 9/10/11 nahezu ident (Tabelle 3). Daher wurde das Impfmittel Nr. 7 und Nr. 10 in Serie 3

in Kombination mit Aluminium und Kalzium getestet (Tabelle 5). Die Resultate brachten keine nennenswerte Steigerung des Graphits. Der Grund könnte die separate Zugabe von Aluminium bzw. Kalzium sein.

Wie den Ergebnissen zu entnehmen, ist die Graphitausbringung der beiden Ba-hältigen Impfmittel Nr. 2 mit Nr. 6 gegenläufig. Der Grund könnte der Aluminiumzugabe kurz vor dem Abstich bei Impfmittel Nr. 2 zuzuschreiben sein.

5.9 Aluminium, Kalzium und seltene Erden (Nr. 12-13)

Bei den Versuchen mit seltenen Erden konnte ein klarer Trend festgestellt werden. Sobald ein Schwellwert überschritten war, wurde die Graphitausscheidung stark unterdrückt, diese Erscheinung wurde bereits bei den Versuchen der einzelnen Elemente beobachtet (Kapitel 4.1.2).

Bis zu einem rückgerechneten Anteil an seltenen Erden von 0,014 Mass.-% nimmt die Graphitausscheidung zu (Tabelle 13). Zwischen 0,014- und 0,03 Mass.-% zeigen die Resultate konstante Werte. Ab 0,06 Mass.-% beginnt die Graphitmenge bereits zu sinken und erreicht mit 0,210 Mass.-% den niedrigsten Wert an Fl.-% Graphit (Abbildung 37).

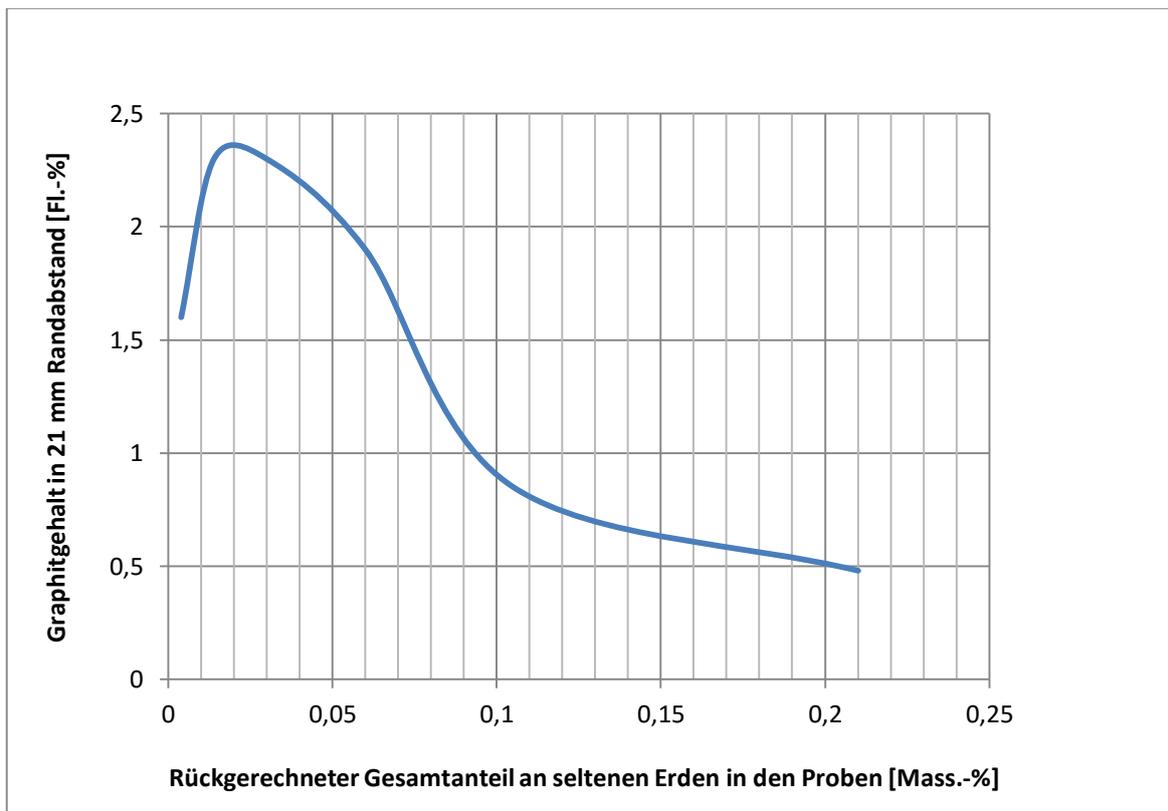


Abbildung 37: Verlauf von Fl.-% Graphit über Anteil an seltenen Erden.

Tabelle 13: Rückgerechneter Gesamtanteil an seltenen Erden in den Proben.

Nr.	Zugabemenge	Anteil an seltene Erden in Mass.-%	Fl.-% Graphit in 21 mm	Nr.	Zugabemenge	Anteil an seltene Erden in Mass.-%	Fl.-% Graphit in 21 mm
12	0,2 %	0,004	1,60	12	0,7 %	0,014	2,30
13	0,2 %	0,03	2,30	13	0,7 %	0,105	0,85
4	0,2 %	0,06	1,90	4	0,7 %	0,210	0,48

Wie in Kapitel 5.5 beschrieben, stellen verschiedene Arbeiten bei exzessiver Impfmittelverwendung eine Graphitentartung fest [31, 39]. Mittels REM-Analyse wurden bei 0,2 Mass.-% Zugabemenge (Impfmittel Nr. 13) ausschließlich Mischkarbide mit Anteilen an seltenen Erden als Keime detektiert, während in Untersuchungen bei 0,7 Mass.-% Impfmittelzugabe keine Anteile an seltenen Erden in den Mischkarbiden festgestellt werden konnten.

5.10 Aluminium, Kalzium, Strontium und Zirkon (Nr. 14-17)

Nach [20] spielen die Elemente Kalzium, Aluminium, Barium und Strontium eine entscheidende Rolle für die Keimbildung nach der Sulfidkeimtheorie (Kapitel 2.6.1). Vergleicht man die Ergebnisse der Impfmittel Nr. 2/9/10/11 (bariumhaltig) mit den Impfmitteln Nr. 14 und Nr. 17 (strontiumhaltig), ist zu erkennen, dass für den untersuchten ICDP-Werkstoff bariumhaltige Impfmittel eine bessere Wirkung zeigen. Eine Kombination aus Strontium und Zirkon lieferte ebenfalls nur durchschnittliche Ergebnisse.

Der Anteil an Zirkon in den Proben (Impfmittel Nr. 5/15/16) ist in Tabelle 14 zu sehen.

Tabelle 14: Rückgerechneter Gesamtanteil an Zirkon in den Proben.

Nr.	Zugabemenge	Anteil Zirkon in Mass.-%	Formfaktor in 21 mm	Nr.	Zugabemenge	Anteil Zirkon in Mass.-%	Formfaktor in 21 mm
15	0,2 %	0,004	0,68	15	0,7 %	0,014	0,79
16	0,2 %	0,008	0,60	16	0,7 %	0,028	0,66
5	0,2 %	0,08	0,72	5	0,7 %	0,280	0,73

Bei zirkonhaltigen Impfmitteln nahm die Graphitmenge mit zunehmender Impfmittelmenge ab und die Form der Graphitteilchen änderte sich von lamellar über nodular hin zum Vermiculargraphit. Dieselbe Morphologie erzeugt auch Impfmittel Nr. 5. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich die Ergebnisse von Impfmittel Nr. 5 (Kapitel 4.1.1) nicht direkt mit jenen dieser Gruppe vergleichen lassen, da die Impfliegierung Nr. 5 kein Aluminium und Kalzium enthalten hat und diese Elemente entscheidenden Einfluss auf die Graphitausscheidung haben. Der Verlauf des Formfaktors ist in Abbildung 38 zu sehen. Bis 0,008 Mass.-% Zirkon (Tabelle 14) nimmt der Formfaktor auf 0,60 ab, dies entspricht auch

dem niedrigsten Wert. Bis 0,014 Mass.-% Zirkon steigt der Formfaktor auf den Maximalwert von 0,79 an und nimmt bis 0,028 Mass.-% Zirkon ab. Mit zunehmendem Zirkongehalt steigt der Formfaktor wieder an.

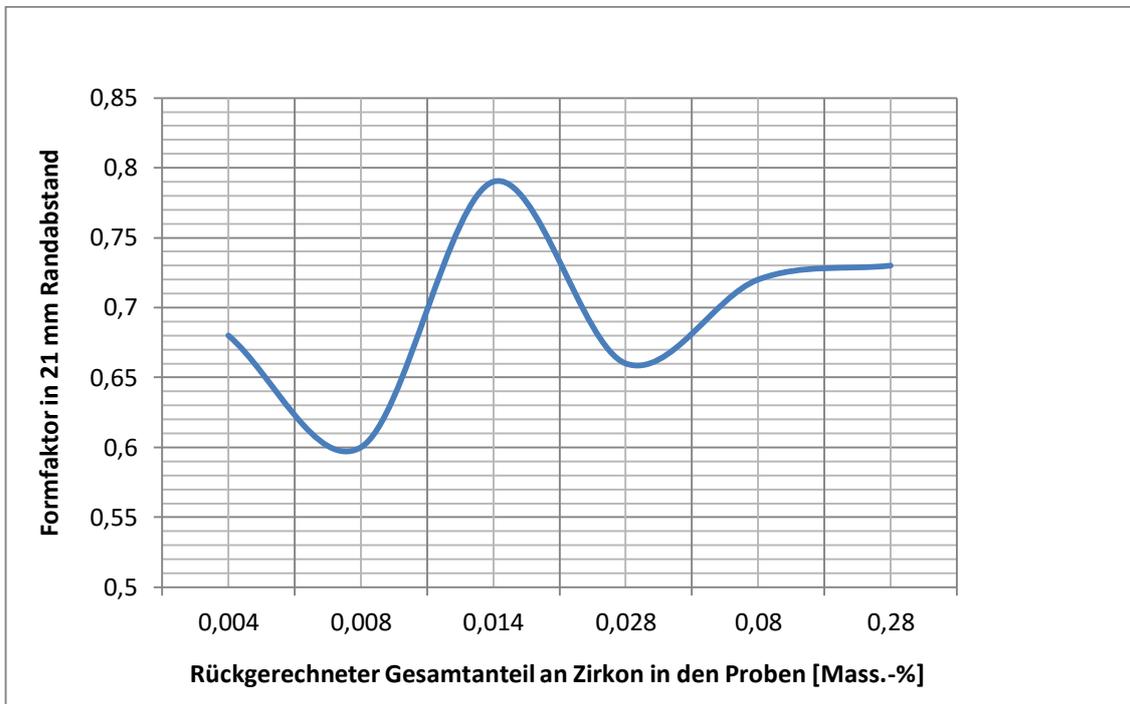


Abbildung 38: Verlauf des Formfaktors über den Anteil an Zirkon.

5.11 Sondervarianten (Nr. 18-20)

Bei Impfmittel Nr. 18 und Nr. 19 handelt es sich um bismuthaltige Impfmittel, welche auch Anteile an seltenen Erden enthalten. Nach [31] weist Bismut eine Impfwirkung nur in Kombination mit seltenen Erden auf. Wird Bismut alleine eingesetzt, stört es die Graphitbildung und führt zu Entartungen. Den Ergebnissen von [42] ist zu entnehmen, dass mit Bismut als Impfmittel hohe Teilchendichten erreicht werden. Die Form des Graphits ist augenscheinlich zerklüftet bzw. zersplittert, was mit diesen Ergebnissen hier – bei geringer Menge an Bismut und seltenen Erden – teilweise bestätigt werden konnte. Eine erhöhte Impfmittelzugabe führte bei den Versuchen zu einer Hemmung der Graphitbildung, ähnlich wie in Kapitel 5.9 beschrieben. Bereits ab 0,007 Mass.-% seltenen Erden in der Probe kam es zu einer Unterdrückung der Graphitausscheidung (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Rückgerechneter Gesamtanteil an seltenen Erden in den Proben.

Nr.	Zugabe- menge	Anteil an seltene Erden in Mass.-%	Fl.-% Graphit in 21 mm	Nr.	Zugabe- menge	Anteil an seltene Erden in Mass.-%	Fl.-% Graphit in 21 mm
18	0,2 %	0,0012	2,40	18	0,7 %	0,0042	2,00
19	0,2 %	0,002	1,70	19	0,7 %	0,007	0,68

Der Schwellwert (Kapitel 5.9) wurde bei diesen Proben nicht erreicht. Abbildung 39 zeigt den Vergleich zwischen den Impfmitteln Nr. 4/12/13 (aus Abbildung 37) mit Nr. 18 und Nr. 19. Beim roten Verlauf ist im Gegensatz zum blauen Verlauf kein Schwellwert zu erkennen. Der Graphitgehalt nimmt mit steigenden Gehalten an Bismut und seltenen Erden ab.

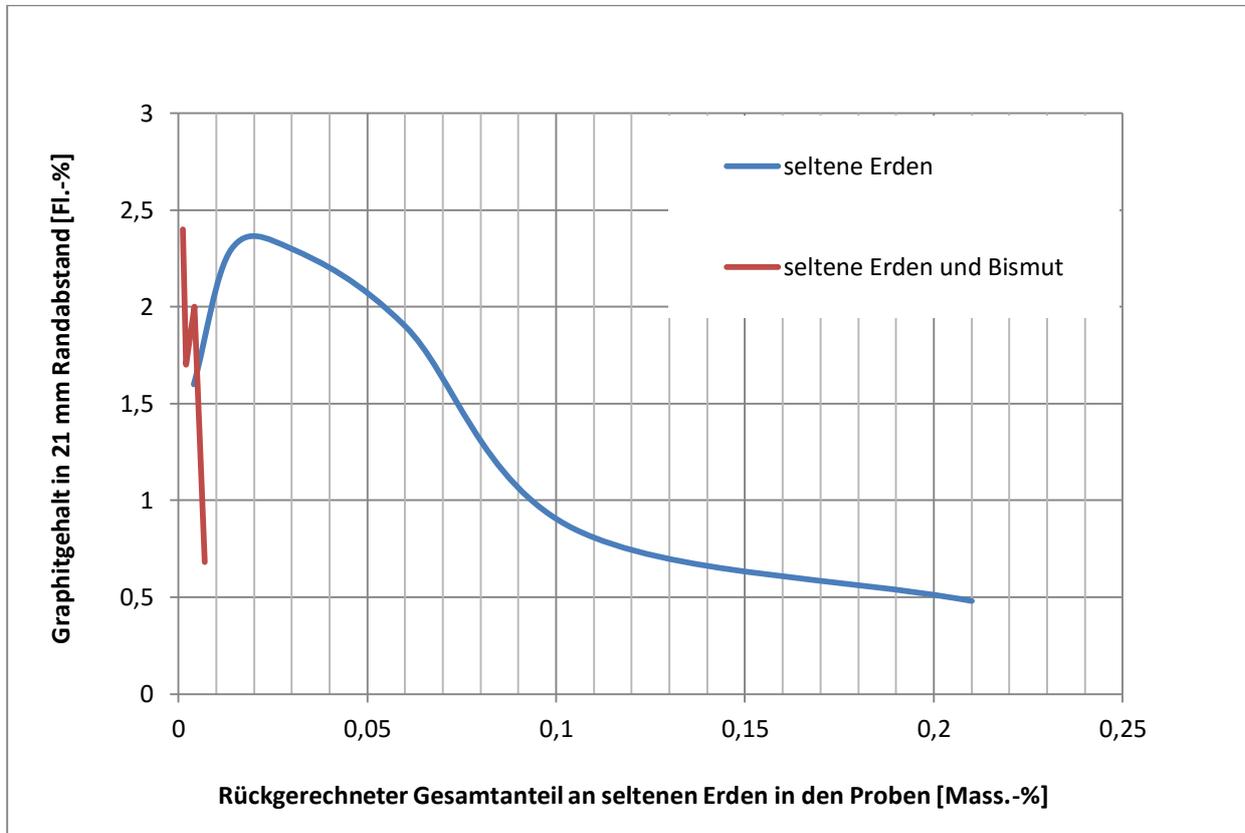


Abbildung 39: Vergleich Impfmittel Nr. 4/12/13 mit Nr. 18/19 in Bezug auf die Graphitmenge.

Impfmittel Nr. 20 war das einzige, das als Trägersubstanz auf Nickel und nicht auf FeSi basierte. Aus diesem Grund konnten die für diese Versuche angesetzten Temperaturen nicht konstant eingehalten werden, da es zu Auflösungsproblemen und einer damit verbundenen, schnelleren Abkühlung der Schmelze gekommen ist. Wurden 0,7 Mass.-% Impfmittel zugegeben, wurden nur ca. 0,5 Mass.-% aufgelöst. Die geringere Menge (0,2 Mass.-%) wurde vollständig aufgelöst. Mit diesem Impfmittel wurden nur sehr niedrige Graphitwerte erzielt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Abschließend lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Für den untersuchten ICDP-Werkstoff stellten sich die impfwirksamen Elemente Aluminium, Kalzium und Barium als die wirkungsvollsten heraus. Auch wenn durch unterschiedliche Kombinationen dieser Elemente, bei welchen die Zugabe von Kalzium und Aluminium separat erfolgte, die erhoffte Steigerung des Graphitanteils ausblieb, wäre die Untersuchung der Wirkungsweise einer aus diesen Elementen bestehenden Impfung, welche gleichzeitig in die Schmelze eingebracht werden kann, von großem Interesse.
- Gute Ergebnisse zeigten Impfmittel, die Anteile an seltenen Erden enthalten. Bei diesen Impfmitteln muss auf die Dosierung großer Wert gelegt werden, da ein zu hoher Anteil an seltenen Erden die Graphitausscheidung unterdrückt. An dieser Stelle empfiehlt sich eine weitere Untersuchung um den Grund für die Graphitunterdrückung festzustellen.
- Mit zirkonhaltigen Impfmitteln lässt sich für diesen ICDP-Werkstoff die Form des Graphits kontrollieren. Es sind jedoch noch weitere Untersuchungen mit unterschiedlichem Anteil an Zirkon durchzuführen, da die Tendenz, dass sich die Graphitform mit steigendem Anteil an Zirkon wieder zu Kugelgraphit ändert, nicht ausgeschlossen werden kann (Abbildung 38).
- Die besten Ergebnisse wurden mit Impfmittelkombinationen erzielt. Aufgrund der unterschiedlichen Erstarrung zwischen dem statischen Gussverfahren bei Stegproben und dem Schleudergussverfahren bei Walzen, wäre es sinnvoll, Versuche mittels Schleudergussverfahren durchzuführen. Es könnte sein, dass durch die wirkenden Fliehkräfte schwere Reaktionsprodukte bzw. Keime an die Außenseite der Walze gelangen und ihre Impfwirkung dadurch verloren geht.
- Potential für eine mögliche Graphitmaximierung könnte auch eine Doppelimpfung (im ESW aus prozesstechnischen Gründen in Form von Vorkonditionierung mit kombinierter Gießstrahlimpfung möglich) liefern. Hierzu sind jedoch weitere Experimente mit unterschiedlichen Vorkonditionierungsmitteln notwendig.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Eisenwerk Sulzau Werfen, „Eisenwerk Sulzau Werfen,“ [Online]. Available: <http://www.esw.co.at/de/technologie/prozess.php>. [Zugriff am 25 Oktober 2016].
- [2] J. Valentine, „Horizontal Centrifugal Casting. Rolls for the Metalworking Industries,“ in *Rolls for the Metalworking Industries*, Canton, OH 44705, Gontermann- Peipers GmbH, 2002, pp. 153-159.
- [3] „Christian Doppler Labor für Modellbasierte Prozessregelung in der Stahlindustrie,“ ACIN, 1 Jänner 2014. [Online]. Available: <http://www.acin.tuwien.ac.at/cdlab-kugi/forschungsbereich-warmbandstrasse/>. [Zugriff am 27 Oktober 2016].
- [4] M. Sinnaeve, „Neue Walzenqualitäten und Trends,“ Gontermann-Peipers GmbH, Stahlwerkseminar 2002, 2002.
- [5] V. Goryany und P. Mauk, „Verfahren zur Herstellung gegossener Walzen für Warmwalzwerke,“ *Giesserei 94*, Nr. 2, pp. 32-51, 07 2007.
- [6] A. Mayr, Graphitausscheidungen in indefiniten Eisen- Gusswerkstoffen für Walzen, Tenneck: Dissertation, 2009.
- [7] H. J. Bargel und G. Schulze, *Werkstoffkunde*, Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2012.
- [8] H. Theisen und H. Berns, *Eisenwerkstoffe*, Berlin Heidelberg: Springer, 2008.
- [9] H. Cerjak und C. Sommitsch, „Skriptum zur Vorlesung Werkstoffkunde,“ Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik (TU Graz), Graz, 2012.
- [10] K. G. Schmitt-Thomas, *Metallkunde für Maschinenwesen*, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong: Springer-Verlag, 1989.
- [11] U. Dieterle und W. Thiele, „Beitrag zur Erstarrung der technischen Eisen-Kohlenstoff-Gußlegierungen EN-GJL, GGK und EN-GJS mit REM-Untersuchungen,“ *Giesserei 86*, pp. 24-30, 12 Juli 1999.
- [12] M. M., „The Effects of Alloying Elements on Steel (I),“ Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik (TU Graz), Graz, 2007.

- [13] C. W. Wegst, *Stahlschlüssel*, Marbach: Stahlschlüssel Wegst GmbH, 1995.
- [14] Elkem, AS, „Impfen und Impfliegierungen,“ Elkem AS, Oslo / Norwegen, 2005.
- [15] H. Goebel, „Neue Gußeisenwerkstoffe für Walzen, ihre Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten,“ *Stahl und Eisen* 77, pp. 143-157, 7 Februar 1957.
- [16] F. Roll, *Handbuch der Gießerei-Technik*, Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer Verlag, 1960.
- [17] B. Lux, A. Vendl und H. Hahn, „Über die Ausbildung eutektischer Gefüge in grau erstarrtem Gußeisen,“ *Radex Rundschau Heft 1/2*, pp. 30-49, 1980.
- [18] A. Sommerfeld, *Untersuchung zur Graphitkeimbildung in GJL-Schmelzen*, Clausthal: Dissertation, 2010.
- [19] A. Mayr, *Graphitausscheidungen in indefiniten Eisen- Gusswerkstoffen für Walzen*, TU Clausthal: Dissertation, 2009.
- [20] T. Skaland, O. Grong und T. Grong, „Part 1: Inoculation mechanisms,“ in *A model for the graphite formation in ductile cast iron*, 1993, pp. 2321-2345.
- [21] T. Benecke, A. Ta, G. Kahr, W.-D. Schubert und B. Lux, „Auflöseverhalten und Vorimpfeffekt von SiC in Gusseisenschmelzen,“ *Gießerei* 74 Nr.10, pp. 301-306, 11 Mai 1987.
- [22] J. Tartera, „Cast Iron inoculation Mechanisms,“ *AFS International Cast Metals Journal*, pp. 7-14, 1980.
- [23] F. Neumann, „Theorien über das Impfen,“ *Giesserei* 83 Nr.14, pp. 11-15, 8 Juli 1996.
- [24] T. Skaland, *A Model for the Graphite Formation in Ductile Cast Iron*, NTH Universität Trondheim: Dissertation , 1992.
- [25] I. Riposan, M. Chisamera, S. Stan, M. Onsoien und T. Skaland, „Analyses of possible Nucleation Sites in Ca/Sr Over -Inoculated gray Iron,“ *Transactions of the American Foundry Society* 109, pp. 1-11, 2001.
- [26] E. Hoffmann und K. Orths, „Desoxidieren und Impfen von Eisen-Kohlenstoff-Gusslegierungen un die zeitabhängige Verschlechterung der Desoxidationswirkung,“ *Gießerei* 67 Nr. 20, pp. 620-628, 1980.

- [27] C. Wang und H. Frederiksson, „On the mechanism of inoculating of cast iron melts,“ in *International Foundry Congress*, 1981.
- [28] B. Lux und H. Tannenberger, „Der Einfluß des Impfens auf die Graphitbildung in reinen Eisen-Kohlenstoff- und Eisen-Kohlenstoff-Silizium-Schmelzen,“ *Giesserei 14 Heft 4*, pp. 193-204, Oktober 1962.
- [29] W. Weis, „Importance of Deoxidation in the Crystallization of Cast Iron,“ *Metallurgy of Cast Iron (Hrsg. Saint-Saphorin/ Schweiz, Georgi Publishing Company)*, pp. 69-79, 1974.
- [30] M. P. Macnaughtan, „The Inoculation of Grey Cast Iron,“ *Foundryman*, pp. 139-143, Mai 2001.
- [31] G. Brümmer, „Inoculation - a view on the basics,“ in *38. Australian Foundry Conference*, Hobart, Tasmanien, 2003.
- [32] W. Knothe, „Das Impfen von Gusseisen mit Kugelgraphit,“ *Giesserei Rundschau 57 Heft 11*, pp. 238-241, 2010.
- [33] G. Geier, W. Bauer und P. Schumacher, „Gusseisen mit Vermiculargraphit – Modifikationsverhalten von Mg, Ce und La bei unterschiedlichen Impfstufen,“ *Giesserei-Rundschau 56 Heft 11/12*, pp. 201-205, 2009.
- [34] A. Bührig-Polaczek, Skriptum Übungen zu Gießereikund II, Leoben: Institut für Gießereikunde Montanuniversität Leoben, 2000.
- [35] J. Asensio-Lozano, J. Álvarez-Antolín und G. Vander-Voort, „Identification and quantification of active manufacturing factors for graphite formation in centrifugally cast Nihard cast irons,“ *Journal of Materials Processing Technology 206*, pp. 202-215, 2008.
- [36] Z. Zhaoxi und L. Baicheng, „Scanning Auger Microprobe study of Interfacial Adsorption behaviour of some Minor Elements in spheroidal-graphite Cast Iron,“ *Cast Metals Volume 1*, pp. 46-50, 1988.
- [37] H. Nakae und @all, „Role of calcium for inoculation of cast iron,“ in *60th World Foundry Congress*, Japan, 1993.
- [38] E. Hofmann, A. Kolorz und K. Orth, „Einfluß unterschiedlicher Desoxidations- und Impfverfahren auf Reinheitsgrad, Gasgehalt und Keimzustand bei technischen Eisen-Kohlenstoff-Schmelzen,“ *Giesserei Forschung Heft 3*, pp. 79-95, 1980.

- [39] H. Löblich, „Einfluss der Keimbildungsbedingungen auf die Entstehung von Chunky-Graphit in dickwandigem Gusseisen mit Kugelgraphit EN-GJS,“ *Giesserei* 92, pp. 28-41, 2006.
- [40] K. Best, „Sauerstoff und Schwefel – metallurgische Partner in Gußeisenschmelzen,“ *Giesserei-Rundschau* 50, pp. 216-219, 2003.
- [41] R. Deike, „Einfluß von Spurenelementen auf die eutektische Erstarrung und die eutektoide Umwandlung von Gußeisen,“ *Giesserei* 86 Nr. 6, pp. 175-182, 1999.
- [42] M. Schrumpf, „Einfluss verschiedener Impfmittel auf die Zähigkeit von unlegiertem Gusseisen mit Kugelgraphit,“ *Konstruieren + Giessen* 32 Nr.4, pp. 12-17, 2007.
- [43] B. Feistritzer, Erhöhung der Verschleißfestigkeit von Walzenwerkstoffen durch die Verwendung von Niob als Legierungselement, Tenneck: Dissertation TU Wien, 2000.

8 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: SCHEMATISCHER AUFBAU EINER WARMBANDSTRAÙE. [3]	9
ABBILDUNG 2: SCHEMATISCHER AUFBAU EINER VERBUNDWALZE FÜR FLACHPRODUKTE. [6]	10
ABBILDUNG 3: INDUKTIONSTIEGEL MIT FLÜSSIGER SCHMELZE (LINKS), HORIZONTALER SCHLEUDERGUSS DES MANTELS (MITTE), STATISCHES VERGIEßEN DES KERNEISENS (RECHTS). [1]	10
ABBILDUNG 4: TYPISCHE GRAPHITAUSBILDUNG IN GUSSEISEN (A) LAMELLAR (GJL) (B) VERMICULAR (GJV) (C) NODULAR (GJS). [8]	11
ABBILDUNG 5: UNTEREUTEKTISCHES GUSSEISEN NACH WEIßER ERSTARRUNG (DUNKEL: PRIMÄRAUSTENIT, ZU PERLIT UMGEWANDELT, HELL: EUTEKTIKUM AUS ZEMENTIT (Fe_3C) UND EINGESCHLOSSEM PERLIT. [8]	12
ABBILDUNG 6: LAGE DER EUTEKTISCHEN PUNKTE UND TEMPERATUREN IM STABILEN UND METASTABILEN SYSTEM $Fe-C$. [11]	13
ABBILDUNG 7: HÄRTEÄNDERUNG VOM BALLENRAND ZUM KERN AN VERSCHIEDENEN WALZENQUALITÄTEN. [15]	14
ABBILDUNG 8: DENDRITISCHE ERSTARRUNG (OBEN), GLOBULARE ERSTARRUNG (UNTEN) NACH [7].	15
ABBILDUNG 9: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES SULFIDISCHEN FREMDKEIMS NACH [18].	16
ABBILDUNG 10: SiC LINKS NICHT OXIDIERT, RECHTS PARTIELL OXIDIERT NACH [21].	18
ABBILDUNG 11: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES WIRKUNGSMECHANISMUS VON SiC BZW. $FeSi$. [21]	18
ABBILDUNG 12: ÜBERSICHT DER VERSCHIEDENEN IMPFVERFAHREN, MODIFIZIERT NACH [31].	19
ABBILDUNG 13: AUFBAU EINES IMPFMITTELS NACH [31].	20
ABBILDUNG 14: DICHTE VERSCHIEDENER REAKTIONSPRODUKTE NACH DEM IMPFVORGANG MODIFIZIERT NACH [31].	21
ABBILDUNG 15: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER VERSUCHSDURCHFÜHRUNG.	27
ABBILDUNG 16: TECHNISCHE ZEICHNUNG DER STEGPROBE.	27
ABBILDUNG 17: SCHEMATISCHER ABLAUF BEIM EINFORMEN: (1) HOLZMODELL MIT SCHAMOTTEZIEGEL, (2) WÄHREND DEM EINFORMVORGANG, (3) FERTIGER FORMKASTEN.	28
ABBILDUNG 18: TYPISCHE ERSTARRUNGSKURVE DER THERMISCHEN ANALYSE.	29
ABBILDUNG 19: SCHILLINGPROBE (LINKS: ZUSTAND NACH DEM GIEßEN, RECHTS: ZUSTAND VOR DER CHEMISCHEN ANALYSE).	30
ABBILDUNG 20: BEREICHE DER GRAPHITMESSUNG.	30
ABBILDUNG 21: ÜBERSICHTSBILD DER GRAPHITMESSUNG.	31
ABBILDUNG 22: ÜBERSICHTSBILD UND WERTE DER GRAPHITMESSUNG IN DER WALZE.	33
ABBILDUNG 23: ÜBERSICHTSBILDER UND ERGEBNISSE DER GRAPHITMESSUNG (LINKS OBEN: NR. 0, RECHTS OBEN: NR. 1, LINKS UND RECHTS UNTEN: NR. 2).	34
ABBILDUNG 24: ÜBERSICHTSBILD UND ERGEBNIS DER GRAPHITMESSUNG VON	35
ABBILDUNG 25: ÜBERSICHTSBILDER UND ERGEBNISSE DER GRAPHITMESSUNG (OBEN: SELTENE ERDEN, UNTEN: ZIRKON).	36
ABBILDUNG 26: ÜBERSICHTSBILDER UND ERGEBNISSE DER GRAPHITMESSUNG (OBEN: $CaSiMn$, MITTE: LC GRAPHIDOX, UNTEN: TTNoC V10).	38
ABBILDUNG 27: ÜBERSICHTSBILDER UND ERGEBNISSE DER GRAPHITMESSUNG (OBEN: TTNoC Cb07, MITTE: TTNoC Cb09, UNTEN: SB 10).	39
ABBILDUNG 28: ÜBERSICHTSBILDER UND ERGEBNISSE DER GRAPHITMESSUNG (OBEN: TTNoC T05, UNTEN: TTNoC T08).	40
ABBILDUNG 29: ÜBERSICHTSBILDER UND ERGEBNISSE DER GRAPHITMESSUNG (OBEN: SRF 75, UNTEN: TTNoC U03).	41
ABBILDUNG 30: ÜBERSICHTSBILDER UND ERGEBNISSE DER GRAPHITMESSUNG (OBEN: TTNoC Cz10, UNTEN: INOCULIN 25).	42
ABBILDUNG 31: ÜBERSICHTSBILDER UND ERGEBNISSE DER GRAPHITMESSUNG (OBEN: INOCULIN 25, UNTEN: SMW 605).	43
ABBILDUNG 32: ÜBERSICHTSBILDER UND ERGEBNISSE DER GRAPHITMESSUNG VON NiCAL.	44
ABBILDUNG 33 REM/BSE AUFNAHME (OBEN) DER PROBE MIT 0,2 MASS.-% IMPFMITTEL NR. 2 SOWIE ZUGEHÖRIGES EDX- SPEKTRUM.	45
ABBILDUNG 34: REM/BSE AUFNAHME (OBEN) DER PROBE MIT 0,7 MASS.-% IMPFMITTEL NR. 5 SOWIE ZUGEHÖRIGES EDX- SPEKTRUM.	46

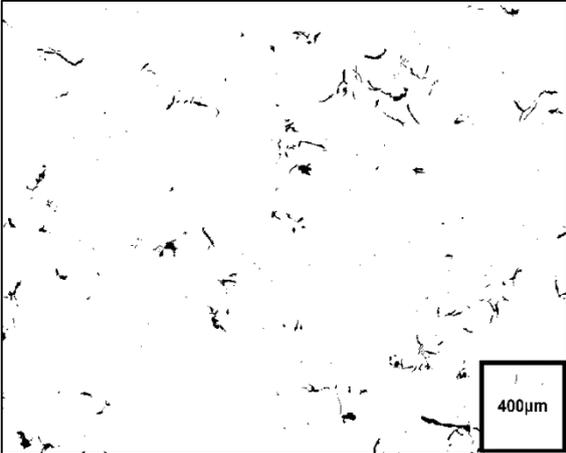
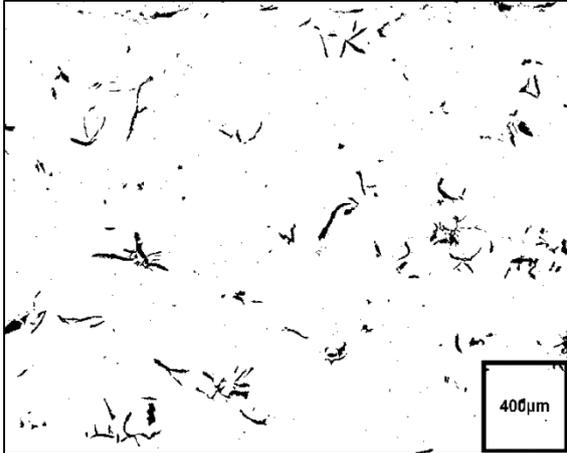
ABBILDUNG 35: OBEN: REM/BSE AUFNAHME (OBEN) DER PROBE MIT 0,2 MASS.-% IMPFMITTEL NR. 13 SOWIE ZUGEHÖRIGES EDX-SPEKTRUM.	47
ABBILDUNG 36: REM/BSE AUFNAHME (OBEN) DER PROBE MIT 0,7 MASS.-% IMPFMITTEL NR. 13 SOWIE ZUGEHÖRIGES EDX-SPEKTRUM.	48
ABBILDUNG 37: VERLAUF VON FL.-% GRAPHIT ÜBER ANTEIL AN SELTENEN ERDEN.	54
ABBILDUNG 38: VERLAUF DES FORMFAKTORS ÜBER DEN ANTEIL AN ZIRKON.	56
ABBILDUNG 39: VERGLEICH IMPFMITTEL NR. 4/12/13 MIT NR. 18/19 IN BEZUG AUF DIE GRAPHITMENGE.	57

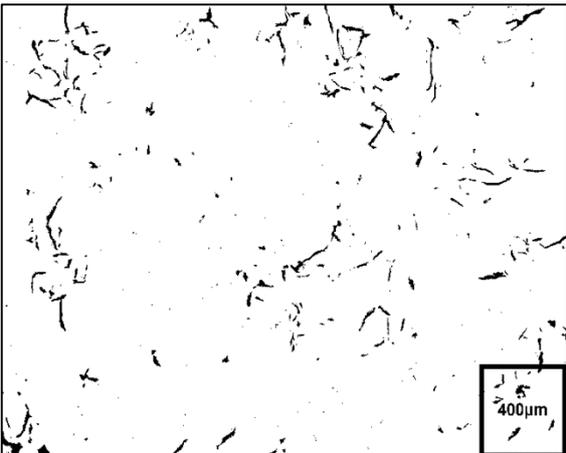
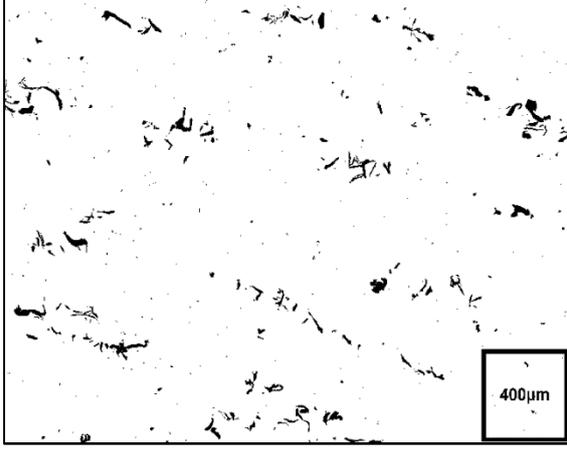
9 Tabellenverzeichnis

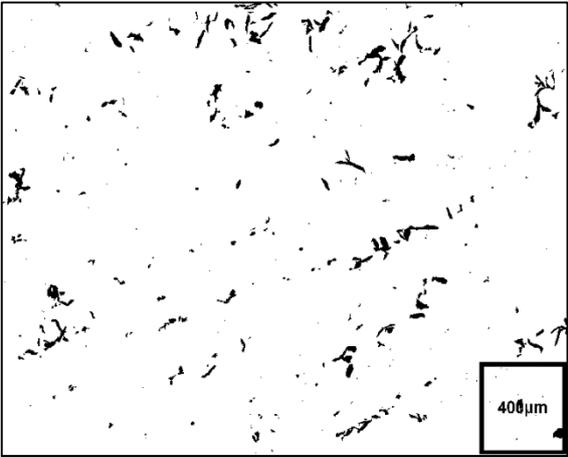
TABELLE 1: GRAPHITISIERENDE UND KARBIDSTABILISIERENDE ELEMENTE [10, 12, 13, 14].	13
TABELLE 2: CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG TYPISCHER INDEFINITE-CHILL-LEGIERUNGEN IN GEW.% [16].	14
TABELLE 3: ÜBERSICHT DER VERWENDETEN IMPFMITTEL.	22
TABELLE 4: IMPFMITTEL DER ZWEITEN SERIE MIT DEN ZUGABEMENGEN.	23
TABELLE 5: IMPFMITTELKOMBINATIONEN DER DRITTEN SERIE MIT DEN VERWENDETEN ZUGABEMENGEN.	24
TABELLE 6: ABWEICHUNGEN DER CHEMISCHEN ZUSAMMENSETZUNG DER UNTERSUCHTEN ICDP-LEGIERUNG.	25
TABELLE 7: ÜBERSICHT DER LIQUIDUS-, ABSTICH- UND EINGUSSTEMPERATUR.	25
TABELLE 8: ÜBERBLICK ÜBER DIE VERSCHIEDENEN ZUGABEMENGEN.	25
TABELLE 9: GRAPHITANALYSEWERTE IN 9MM BZW. 21MM ANHAND DES BEISPIELS IN ABBILDUNG 21.	31
TABELLE 10: ERGEBNISSE DER ERSTEN UND ZWEITEN SERIE.	49
TABELLE 11: ERGEBNISSE DER DRITTEN SERIE.	50
TABELLE 12: FREIE STANDARD-BILDUNGSENTHALPIEN VON ZIRKON IN GUSSEISENSCHMELZEN BEI UNTERSCHIEDLICHEN TEMPERATUREN [41].	53
TABELLE 13: RÜCKGERECHNETER GESAMTANTEIL AN SELTENEN ERDEN IN DEN PROBEN.	55
TABELLE 14: RÜCKGERECHNETER GESAMTANTEIL AN ZIRKON IN DEN PROBEN.	55
TABELLE 15: RÜCKGERECHNETER GESAMTANTEIL AN SELTENEN ERDEN IN DEN PROBEN.	56

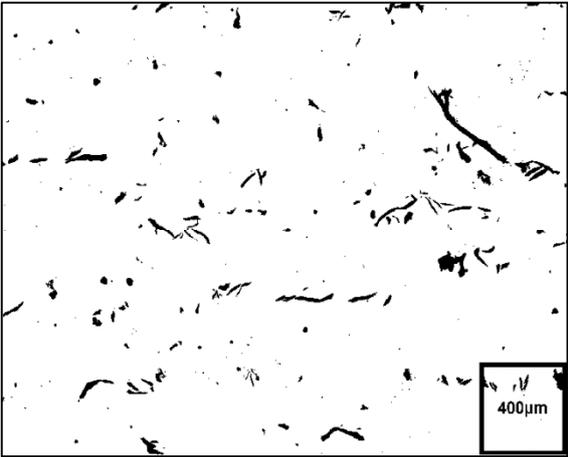
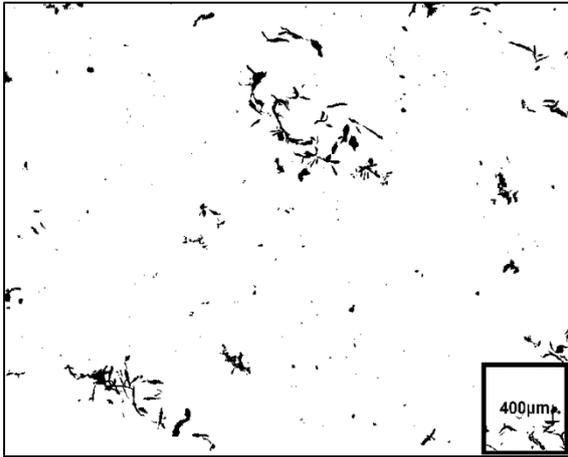
10 Anhang

10.1 Detailergebnisse Serie 2

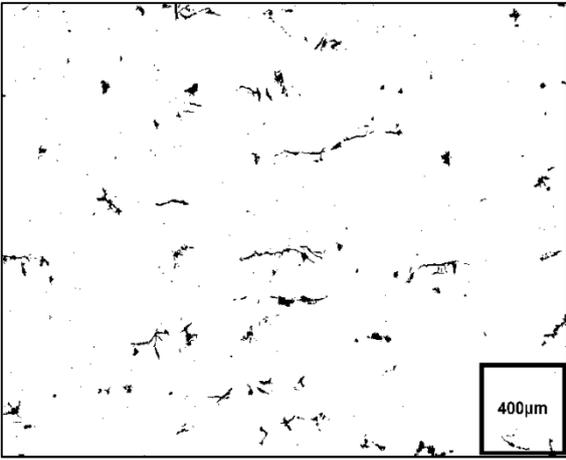
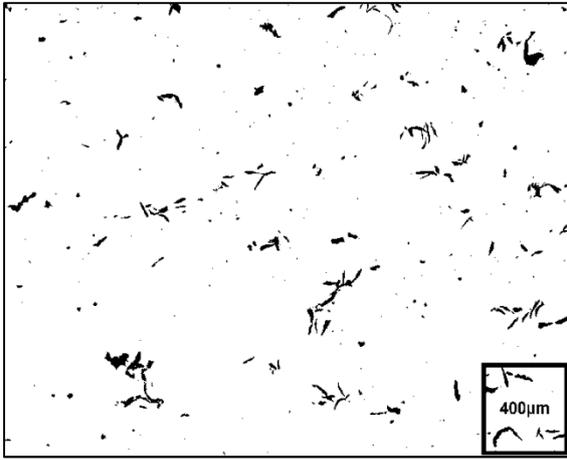
0,2% Kein Impfmittel (Nr. 0)						0,2% CaSi (Nr. 1)					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
1,10	20,6	0,55	1,10	22,6	0,58	2,00	35,0	0,60	2,10	29,4	0,62

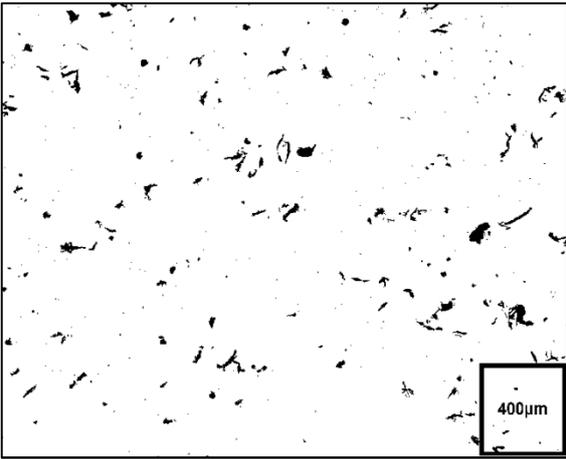
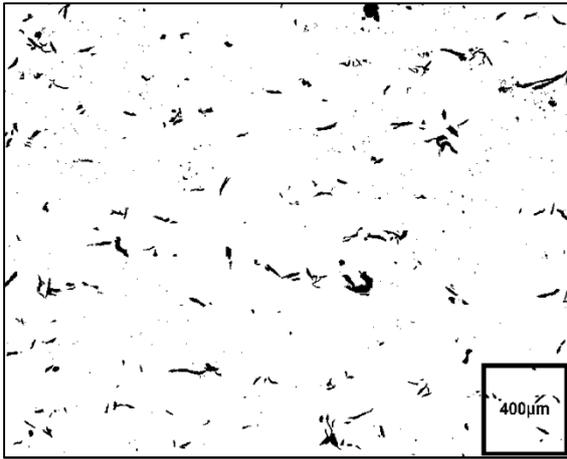
0,2% SB5 (Nr. 2)						0,2% Al (Nr. 3)					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
1,90	33,4	0,59	2,00	29,5	0,61	2,20	30,1	0,60	1,90	28,1	0,64

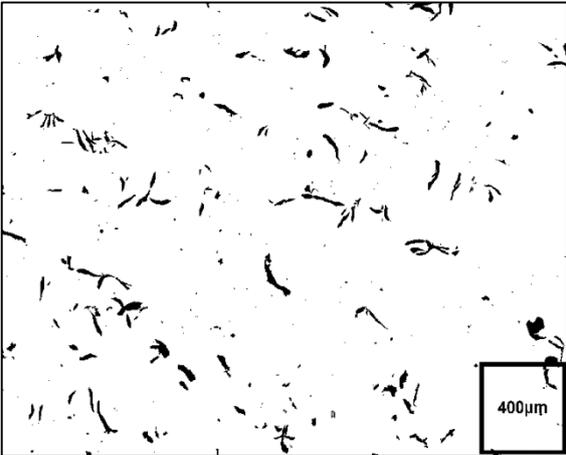
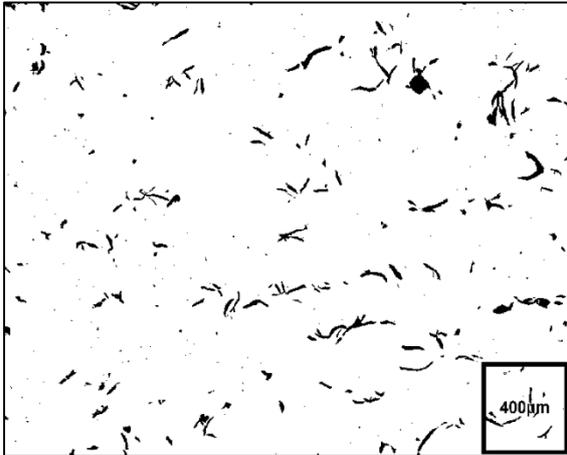
0,2% TTNöC Cb07 (Nr. 9)						0,7% SB10 (Nr. 11)					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
3,00	29,7	0,66	2,80	28,7	0,65	2,50	39,3	0,64	2,70	37,3	0,65

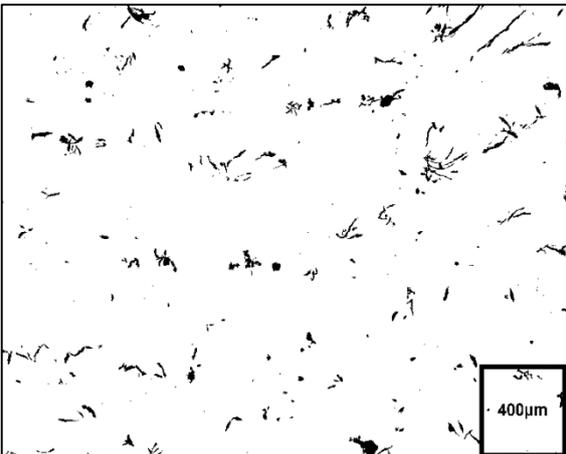
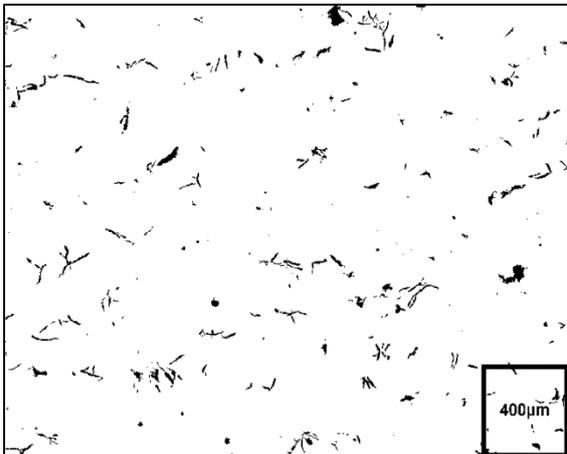
0,2% TTNöC Cz10						0,2% Inoculin 440					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
2,30	30,6	0,67	2,40	33,3	0,66	2,10	32,9	0,61	2,50	31,2	0,62

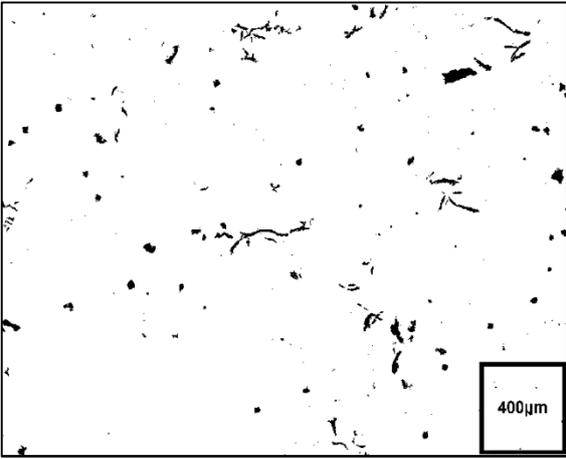
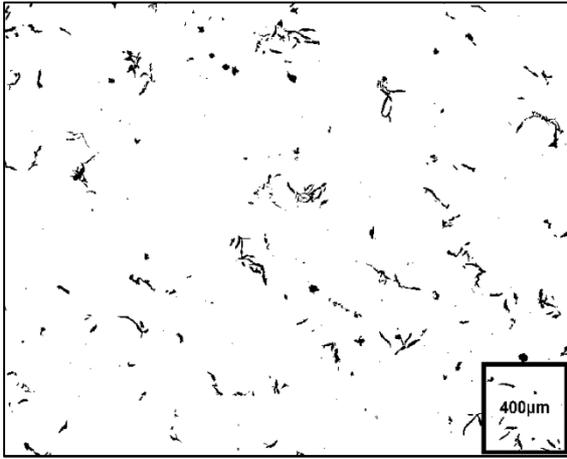
10.2 Detailergebnisse Serie 3

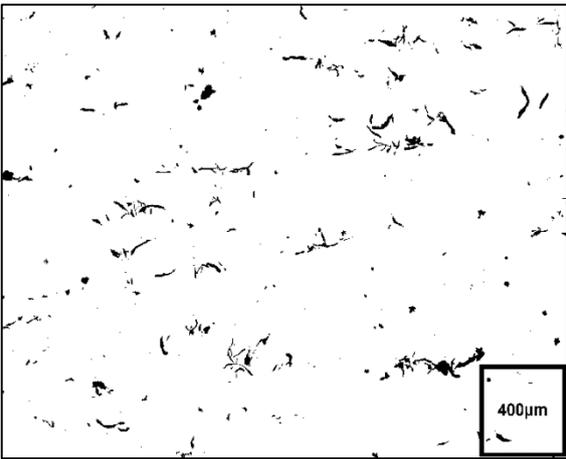
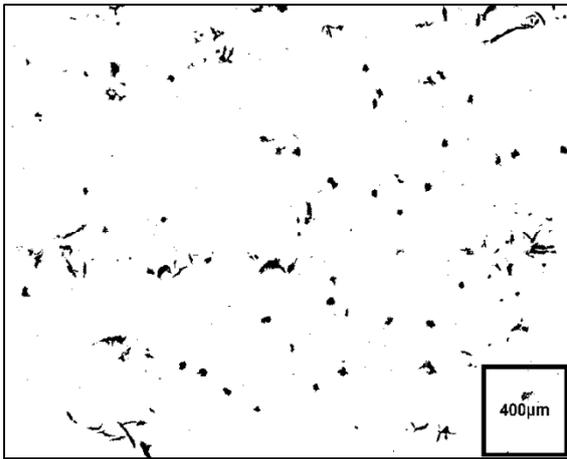
0,2% Inoculin 440 & 0,2% Inoculin 25						0,2% SB 10 & 0,2% TTNoC V10					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
1,70	28,9	0,57	2,00	30,5	0,57	2,20	32,4	0,66	2,30	31,9	0,65

0,2% TTNoC T05 & 0,2 Inoculin 25						0,2% CaSi & 0,12 CaF ₂ & 0,2% Inoculin 25					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
2,20	32,4	0,66	2,00	30,0	0,66	2,40	31,2	0,66	2,50	36,8	0,65

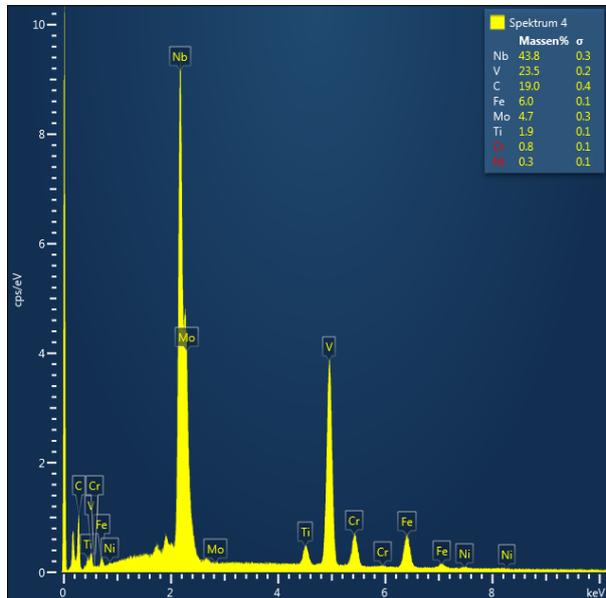
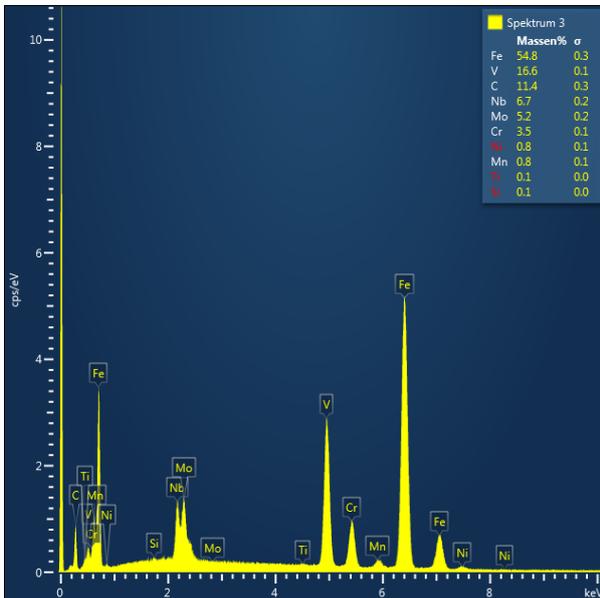
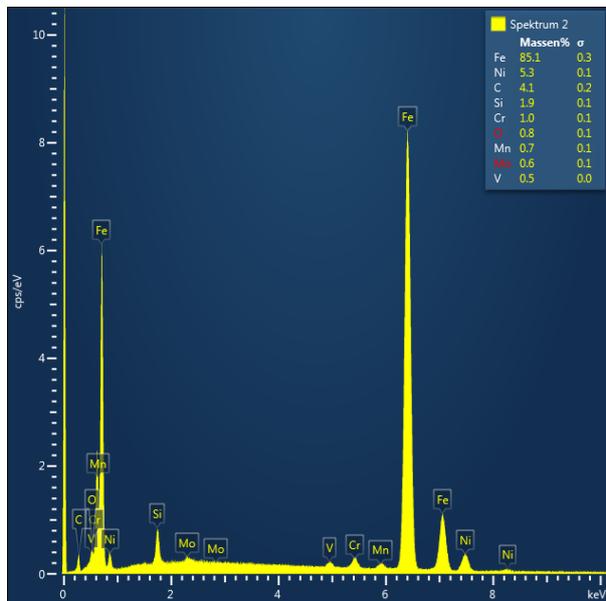
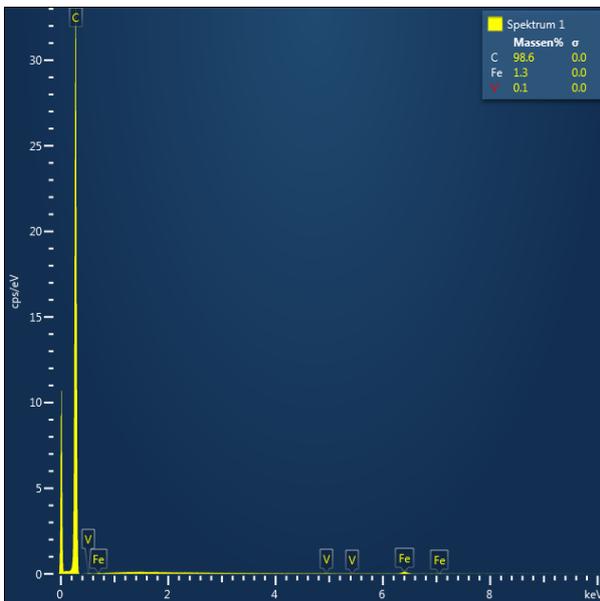
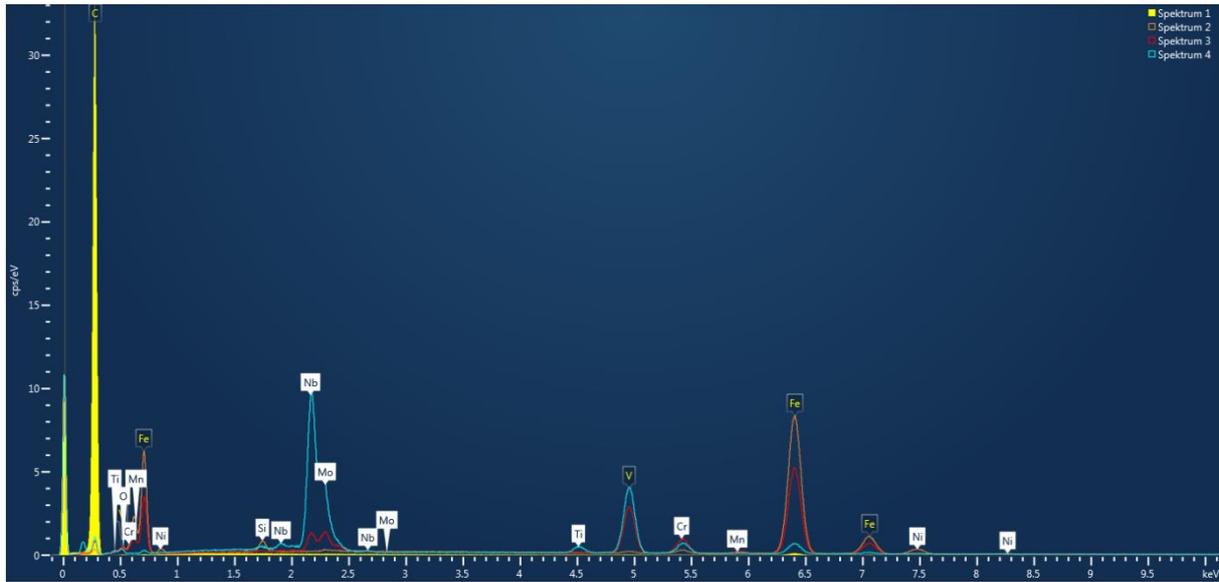
0,2% TTNoC Cb07 & 0,2% TTNoC T05						0,2% TTNoC V10 & 0,2% TTNoC T05					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
2,60	34,5	0,67	2,60	31,6	0,65	2,50	35,1	0,65	3,00	37,1	0,65

0,2% TTNoC Cb07 & 0,12% CaF ₂						0,2% SB 10 & 0,12% CaF ₂					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
2,20	37,3	0,63	1,90	32,9	0,61	1,90	34,7	0,63	1,70	33,4	0,60

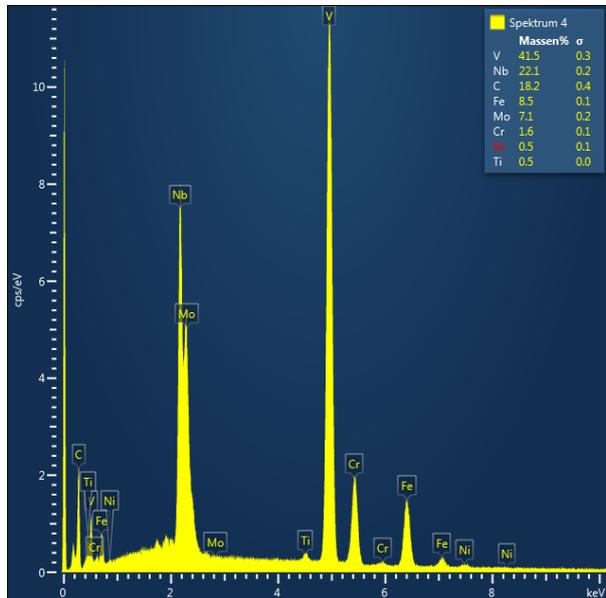
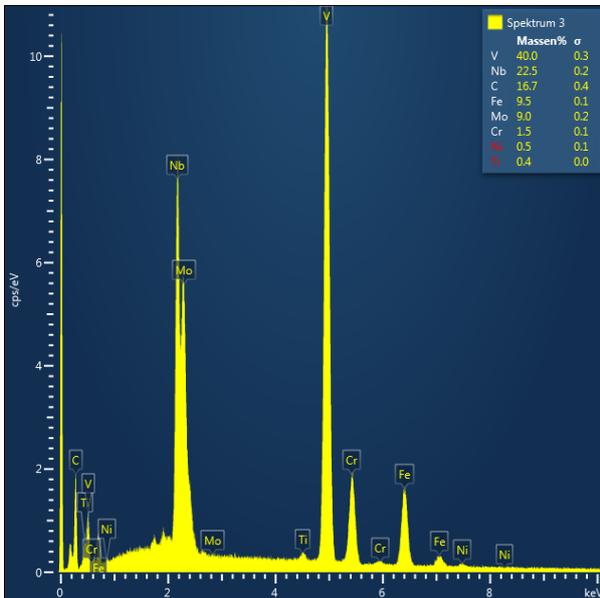
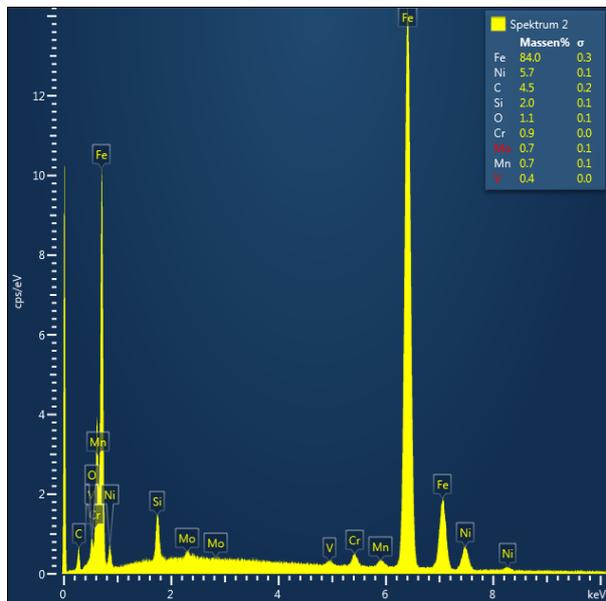
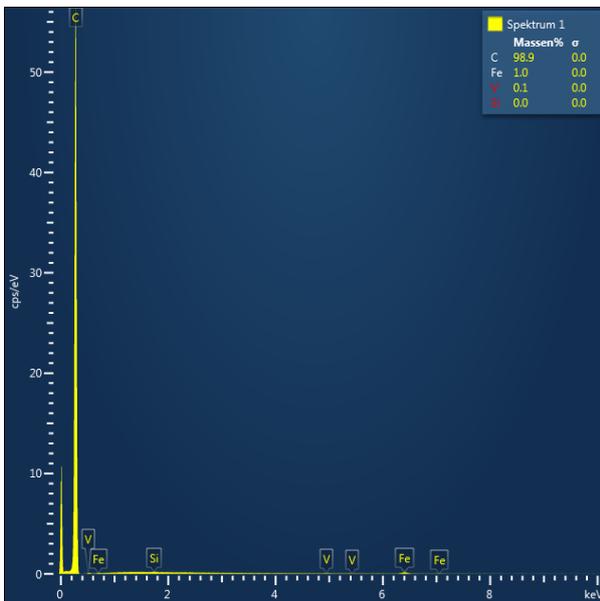
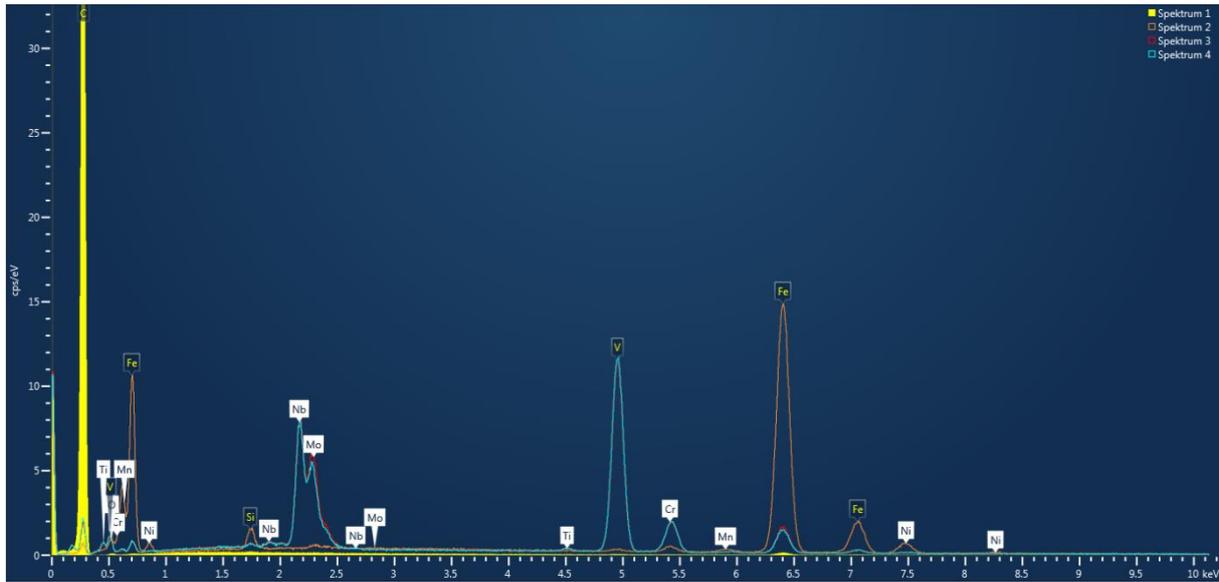
0,2% Inoculin 25 & 0,12% CaF ₂						0,2% TTNoC Cb07 & 0,03% Al					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
2,10	28,4	0,65	2,10	27,4	0,65	2,00	34,2	0,63	1,90	33,9	0,62

0,2% SB 10 & 0,03% Al						0,2% Inoculin 25 & 0,03% Al					
											
Graphit 9mm			Graphit 21mm			Graphit 9mm			Graphit 21mm		
Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor	Fl.- %	Dichte [1/mm ²]	Form- faktor
2,00	34,2	0,65	2,00	34,0	0,62	1,90	22,1	0,69	1,80	22,1	0,66

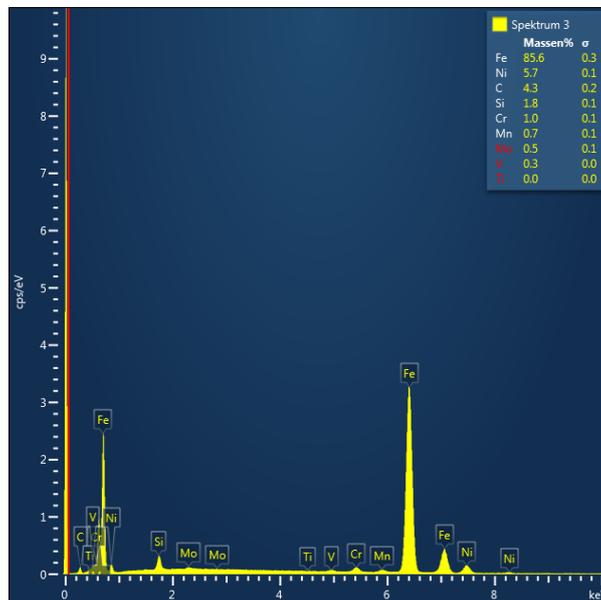
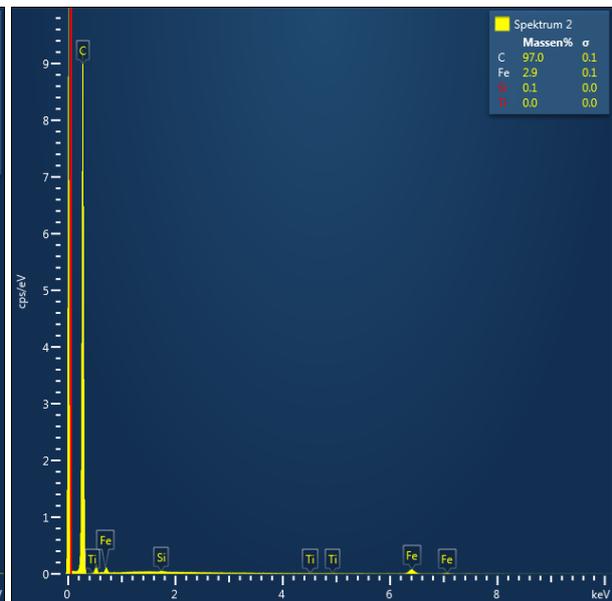
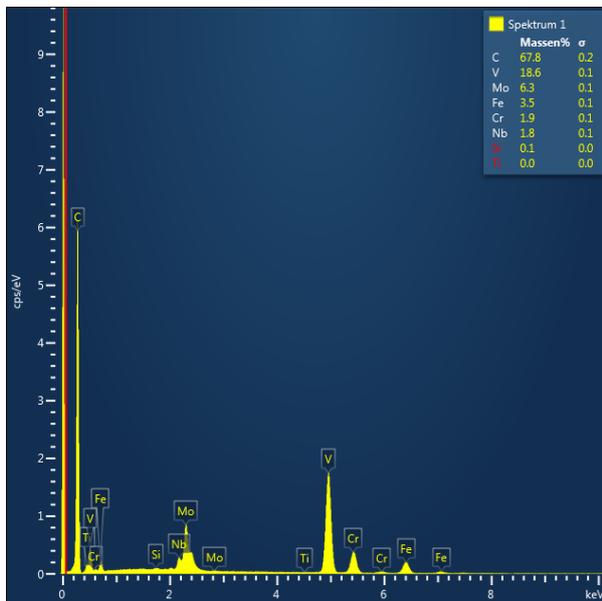
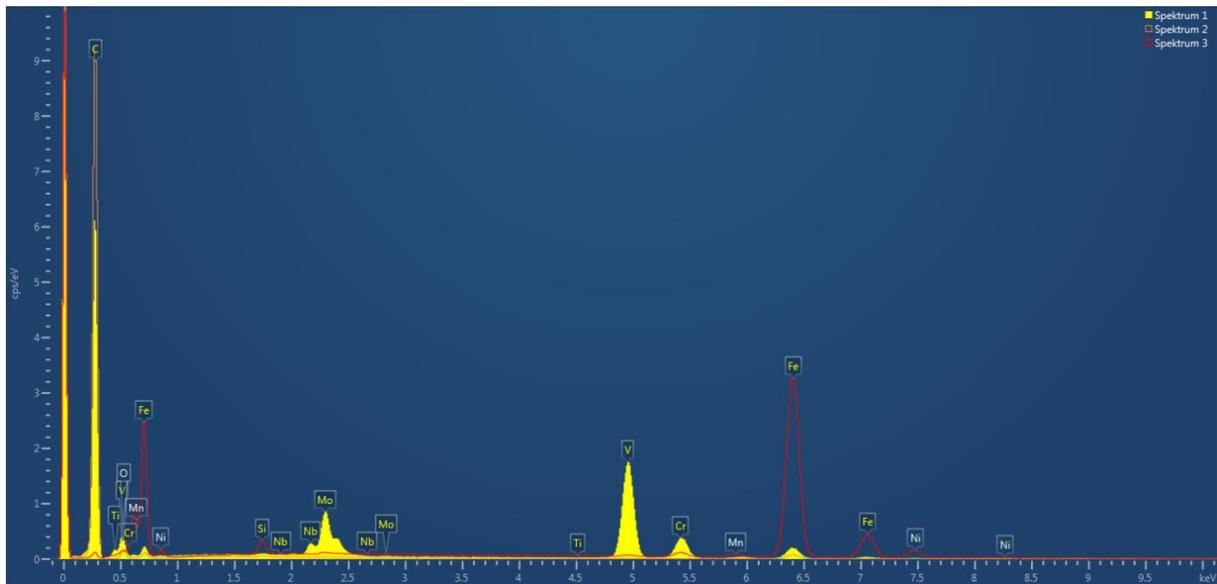
10.3 0,2 Mass.-% FeZr (Nr. 5)



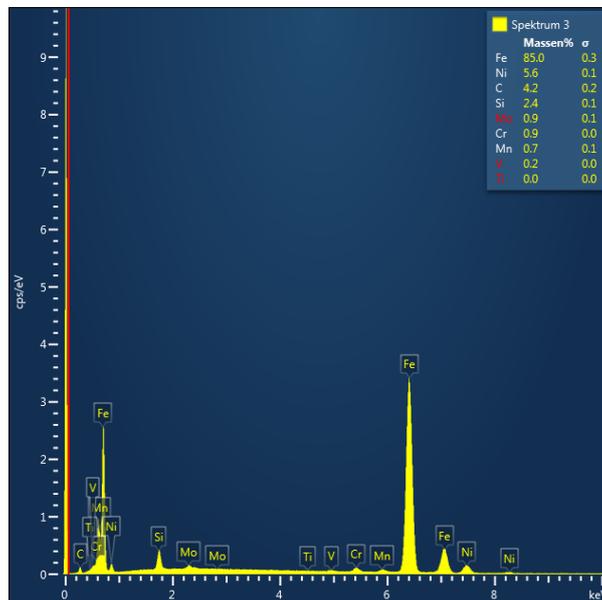
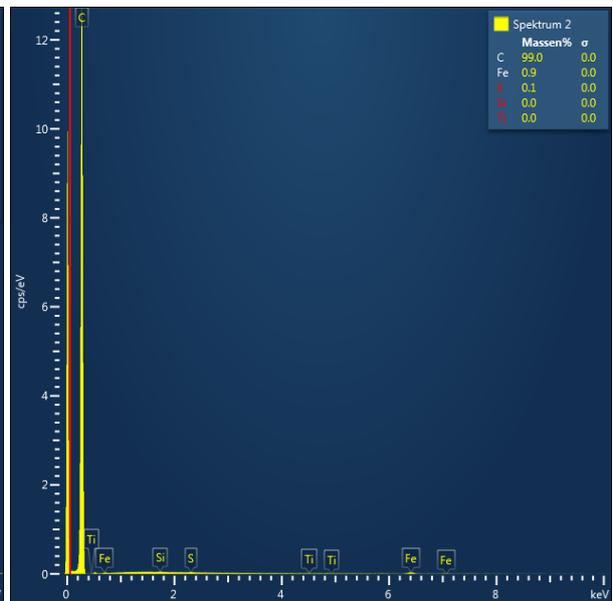
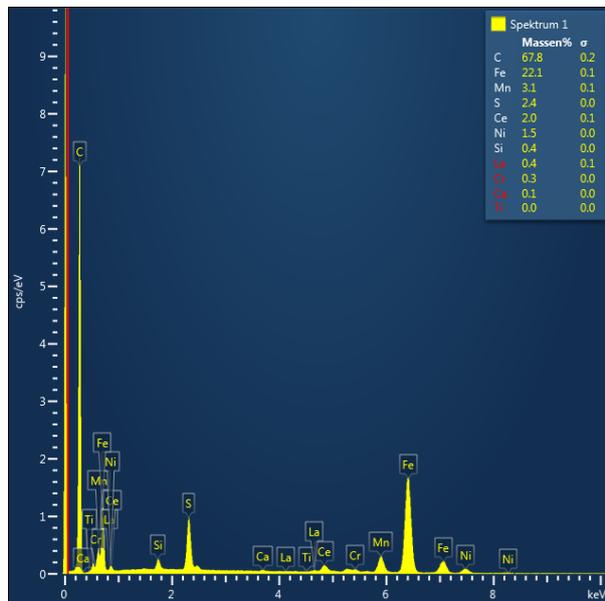
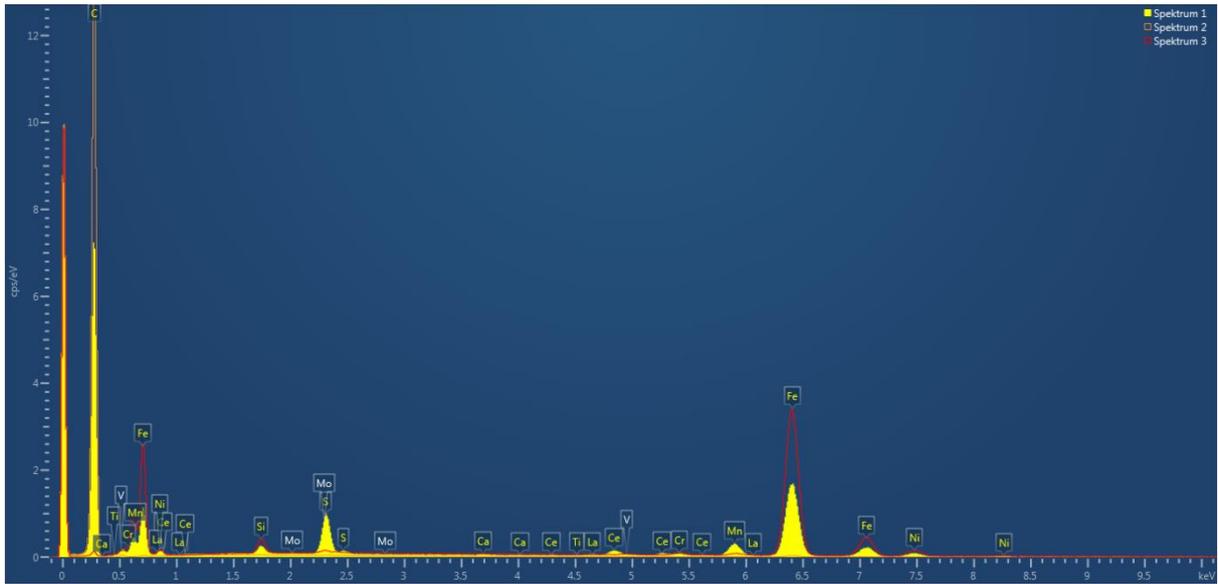
10.4 0,7 Mass.-% FeZr (Nr. 5)



10.5 0,7 Mass.-%TTNoC T08 (Nr. 13)



10.6 0,2 Mass.-%TTNoC T08 (Nr. 13)



TTNoC V 10 – Impflegierung

<u>Produkt:</u>	Ferro-Silizium als Trägermaterial sowie Aluminium und Calcium als impfwirksame Elemente bilden diese Impflegierung, die sich durch eine hervorragende Impfwirkung auszeichnet. Die enge Toleranzbreite der Zusammensetzung des Trägermaterials als auch der Summe der impfwirksamen Komponenten sorgt für eine hohe Gleichmäßigkeit im Impfverhalten.
<u>Anwendung:</u>	TTNoC V 10 ist der Spezialist für alle Gusseisenwerkstoffe bei denen eine starke Impfwirkung notwendig ist, um eine gezielte Graphitausscheidung während der Erstarrung zu erreichen. Es wird daher im Regelfall nur bei GJS-Werkstoffen verwendet und kann sowohl in der Pfanne als auch im Gießstrahl eingesetzt werden. Auf Grund des Abklingens der Impfwirkung ist nach einer Pfannenimpfung auf ein zügiges Abgießen zu achten. Der relativ hohe Aluminiumgehalt kann in Einzelfällen zu unerwünschten Nebenwirkungen wie z.B. Pinholes führen. Dem Aluminium sollte die Aufgabe der Impfung vorbehalten bleiben, d.h. unnötig hohe Aluminiumgehalte im Basiseisen, den Aufsilizierungsmitteln und Vorlegierungen sind zu vermeiden.
<u>Rahmenanalyse:</u>	70 – 75 % Si 3.3 – 4.4 % Al 0.4 – 1.5 % Ca
<u>Körnung:</u>	3 – 6 mm, 0.6 – 3.0 mm, Gießstrahlkörnungen (mit ggf. etwas geringerem Si-Gehalt)
<u>Zugabe:</u>	Die Zugabe hat sich an den Gegebenheiten der jeweiligen Gießerei (Schmelzverfahren, Vorkonditionierung) als auch den Bedürfnissen des jeweiligen Werkstoffes und Werkstückes zu orientieren. Für GJS haben sich Zugaben von 0,1 bis 0,4 % als geeignet erwiesen.
<u>Verpackung:</u>	in BigBags oder 25 kg Papiersäcken auf Einweg- oder Tauschpaletten mit oder ohne Schrumpfaube.
<u>Lagerung:</u>	In Originalverpackung und bei Vermeidung von Feuchtigkeitseinwirkung unbeschränkt.
<u>Transportvorschrift:</u>	Auf dem Landweg kein gefährliches Gut im Sinne der Transportvorschriften.

23.07.10 Dr. Br.

NIZI International (DE) GmbH, Am Brüll 17, D-40878 Ratingen, Tel.: +49 (0) 21 02 85 60 00
Dieses Produktdatenblatt entspricht dem heutigen Stand der Kenntnis und soll über das Produkt und dessen Anwendung informieren. Es hat nicht die Bedeutung bestimmte Eigenschaften oder dessen Eignung für einen bestimmten Anwendungsfall zuzusichern und stellt keine vollständige Gebrauchsanweisung dar.

TTNoC U 03 – Inoculant

Product: Zirconium and Strontium are the main inoculating elements of this alloy which is based on a Ferro-Silicon master alloy. The high silicon content of about 75 % Silicon leads to good dissolving properties of the alloy even if used at lower pouring temperatures. The highly controlled level of inoculating elements within the alloy creates a consistent inoculating effect. Zirconium has the added benefit of delaying inoculant fade and will help neutralise the deleterious effect of residual Nitrogen in grey iron melts.

Application: The high level of consistency combined with the relatively weak inoculating effect of TTNoC U 03 makes this an ideal inoculant where an exact and fine adjustment of graphite crystallisation is required. Therefore the main field of application for this inoculant is flake graphite iron, where in certain instances uncontrolled over-inoculation could cause defects such as micro porosity. It also reduces the possibility for pin holing gas defects e.g. with cupola melted iron.

Analysis:

71 – 78 %	Si
1.0 – 1.6 %	Zr
0.6 – 1.2 %	Sr
max. 0.5 %	Al
max. 0.1 %	Ca

Size:

0.6 - 3mm
3 - 8 mm
0.2 - 0.7mm*

Special sizes available on request.

Addition: The addition rate depends on the production characteristics within each foundry (melting process, preconditioning) as well as the requirements of the material and the castings produced. For G.I. additions of 0.05 to 0.3 % are standard.

Packaging: in 1.25 MT Bulk Bags or 25 kg paper bags on one way or Euro pallets with or without shrink wrap.

Storing: Kept in a dry place and in its original packaging this Inoculant could be stored indefinitely.

Transport: Classified as non-dangerous material.

* the Si-content of 0.2-0.7mm could be slightly below this level

09.09.12 SF/Dr.Br

NIZI International S.A. 89E, rue Pafelbruch, L – 8308 Luxembourg, Phone : ++352 44 22 21-1
This product data sheet is based on current knowledge and should provide information regarding this product as well as its use. It does not guarantee any special property or suitability for a special application and does not give complete instructions for use.

TTNoC T 08 – Impflegierung

<u>Produkt:</u>	Ferro-Silizium als Trägermaterial sowie Seltene Erden und in deutlich geringerem Maße auch Aluminium und Calcium als impfwirksame Elemente bilden diese Impflegierung. Die enge Toleranzbreite der Zusammensetzung des Trägermaterials als auch der Summe der impfwirksamen Komponenten sorgt für eine hohe Gleichmäßigkeit im Impfverhalten.
<u>Anwendung:</u>	TTNoC T 08 ist der Spezialist für GJL in all jenen Fällen, in denen eine besondere Gefährdung für das Auftreten von Mikroporositäten vorliegt, da es vergleichmäßigend auf den Keimzustand der Schmelze wirkt. Es eignet sich auch zur Impfung von GJV, wobei allerdings die Schmelze durch vorangehende Behandlungsschritte gezielt auf die Impfung mit TTNoC T 08 vorbereitet werden muss. Auf Grund des hohen Gehaltes an Seltenen Erden ist dieses Produkt nur eingeschränkt für die Impfung von GJS geeignet und wird dessen Anwendung für diese Werkstoffgruppe nicht empfohlen.
<u>Rahmenanalyse:</u>	38 – 46 % Si 10 – 15 % Seltene Erden 0.6 – 1.0 % Al 0.4 – 1.0 % Ca
<u>Körnung:</u>	0.4 – 2 mm, Gießstrahlkörnungen Sonderkörnungen für spezielle Anwendungsfälle sind darstellbar
<u>Zugabe:</u>	Die Zugabe hat sich an den Gegebenheiten der jeweiligen Gießerei (Schmelzverfahren, Vorkonditionierung) als auch den Bedürfnissen des jeweiligen Werkstoffes und Werkstückes zu orientieren. Für GJL und GJV haben sich Zugaben von 0,05 bis 0,25 % als geeignet erwiesen.
<u>Verpackung:</u>	in 1.25 t BigBags , 25 kg Papiersäcken oder 250 kg Stahlfässern auf Einweg- oder Tauschpaletten mit oder ohne Schrumpfhaut.
<u>Lagerung:</u>	In Originalverpackung und bei Vermeidung von Feuchtigkeitseinwirkung unbeschränkt.
<u>Transportvorschrift:</u>	Auf dem Landweg kein gefährliches Gut im Sinne der Transportvorschriften.

28.08.13 Dr. Br.

NIZI International (DE) GmbH, Am Brühl 17, D-40878 Ratingen, Tel.: ++49 (0) 21 02 85 60 00
Dieses Produktdatenblatt entspricht dem heutigen Stand der Kenntnis und soll über das Produkt und dessen Anwendung informieren. Es hat nicht die Bedeutung bestimmte Eigenschaften oder dessen Eignung für einen bestimmten Anwendungsfall zuzusichern und stellt keine vollständige Gebrauchsanweisung dar.

TTNoC T 05 – Impflegierung

<u>Produkt:</u>	Ferro-Silizium als Trägermaterial sowie Cer, Aluminium und Calcium als impfwirksame Elemente bilden diese Impflegierung. Die enge Toleranzbreite der Zusammensetzung des Trägermaterials als auch der Summe der impfwirksamen Komponenten sorgt für eine hohe Gleichmäßigkeit im Impfverhalten. Cer bindet Störelemente und schirmt deren negativen Einfluss bei der Bildung von Kugelgraphit ab. Zudem verzögert Cer das Abklingen der Impfwirkung.
<u>Anwendung:</u>	TTNoC T 05 ist universell einsetzbar und eignet sich für alle Gusseisenwerkstoffe bei denen eine gezielte Graphitausscheidung während der Erstarrung gewünscht ist. Es kann sowohl in der Pfanne als auch im Gießstrahl eingesetzt werden. Der Cer-Gehalt dieser Impflegierung ist bei der Produktion von GJS und GJV insofern zu berücksichtigen, als das er auf den Gesamtgehalt an Seltenen Erden die auch über Vorkonditionierungsmittel, Vorlegierungen und Fülldrähte der Schmelze zugeführt werden anzurechnen ist, um eine schädliche Überdosierung an Seltenen Erden zu vermeiden.
<u>Rahmenanalyse:</u>	70 – 80 % Si 1.5 – 2.0 % Cer 0.6 – 1.2 % Al 0.8 – 1.4 % Ca
<u>Körnung:</u>	2 – 6 mm, 0.6 – 2 mm, Gießstrahlkörnungen* Sonderkörnungen für spezielle Anwendungsfälle sind darstellbar
<u>Zugabe:</u>	Die Zugabe hat sich an den Gegebenheiten der jeweiligen Gießerei (Schmelzverfahren, Vorkonditionierung) als auch den Bedürfnissen des jeweiligen Werkstoffes und Werkstückes zu orientieren. Für GJL und GJV haben sich Zugaben von 0,05 bis 0,3 % und bei GJS von 0,2 bis 0,6 % als geeignet erwiesen.
<u>Verpackung:</u>	in 1.25 t BigBags , 25 kg Papiersäcken oder 250 kg Stahlfässern auf Einweg- oder Tauschpaletten mit oder ohne Schrumpfaube.
<u>Lagerung:</u>	In Originalverpackung und bei Vermeidung von Feuchtigkeitseinwirkung unbeschränkt.
<u>Transportvorschrift:</u>	Auf dem Landweg kein gefährliches Gut im Sinne der Transportvorschriften.

* in Gießstrahlkörnungen kann der Si-Gehalt ggf. nach unten hin abweichen

23.03.12 Dr. Br.

NIZI International (DE) GmbH, Am Brühl 17, D-40878 Ratingen, Tel.: ++49 (0) 21 02 85 60 00
Dieses Produktdatenblatt entspricht dem heutigen Stand der Kenntnis und soll über das Produkt und dessen Anwendung informieren. Es hat nicht die Bedeutung bestimmte Eigenschaften oder dessen Eignung für einen bestimmten Anwendungsfall zuzusichern und stellt keine vollständige Gebrauchsanweisung dar.

TTNoC C_z 10 - Impflegierung

<u>Produkt:</u>	Ferro-Silizium als Trägermaterial sowie Zirkon, Aluminium und Calcium als impfwirksame Elemente bilden diese Impflegierung, die sich durch eine gute Impfwirkung auszeichnet. Die enge Toleranzbreite der Zusammensetzung des Trägermaterials als auch der Summe der impfwirksamen Komponenten sorgt für eine hohe Gleichmäßigkeit im Impfverhalten. Zirkon verzögert das Abklingen der Impfwirkung und bindet teilweise den in Gusseisenschmelzen enthaltenen Stickstoff.
<u>Anwendung:</u>	TTNoC C _z 10 ist universell einsetzbar und eignet sich für alle Gusseisenwerkstoffe bei denen eine gezielte Graphitausscheidung während der Erstarrung gewünscht ist. Es kann sowohl in der Pfanne als auch im Gießstrahl eingesetzt werden.
<u>Rahmenanalyse:</u>	73 – 79 % Si* 2.2 – 2.9 % Ca 1.0 – 2.0 % Zr 1.0 – 1.5 % Al
<u>Körnung:</u>	2.5 – 6 mm, 0.6 – 2.5 mm, 0.2 – 0.7 mm*
<u>Zugabe:</u>	Die Zugabe hat sich an den Gegebenheiten der jeweiligen Gießerei (Schmelzverfahren, Vorkonditionierung) als auch den Bedürfnissen des jeweiligen Werkstoffes und Werkstückes zu orientieren. Für GJL sollten Zugaben von 0,05 bis 0,25 % und bei GJS von 0,1 bis 0,5 % geeignet sein.
<u>Verpackung:</u>	in BigBags oder 25 kg Papiersäcken auf Einweg- oder Tauschpaletten mit oder ohne Schrumpfhäube.
<u>Lagerung:</u>	In Originalverpackung und bei Vermeidung von Feuchtigkeitseinwirkung unbeschränkt.
<u>Transportvorschrift:</u>	Auf dem Landweg kein gefährliches Gut im Sinne der Transportvorschriften.

* in Gießstrahlkörnungen kann der Si-Gehalt ggf. nach unten hin abweichen

23.07.10 Dr.Br.

NIZI International (DE) GmbH, Am Brüll 17, D-40878 Ratingen, Tel.: ++49 (0) 21 02 85 60 00
Dieses Produktdatenblatt entspricht dem heutigen Stand der Kenntnis und soll über das Produkt und dessen Anwendung informieren. Es hat nicht die Bedeutung bestimmte Eigenschaften oder dessen Eignung für einen bestimmten Anwendungsfall zuzusichern und stellt keine vollständige Gebrauchsanweisung dar.

TTNoC C_b 07 – Impflegierung

<u>Produkt:</u>	Ferro-Silizium als Trägermaterial sowie Barium, Aluminium und Calcium als impfwirksame Elemente bilden diese Impflegierung, die sich durch eine gute Impfwirkung auszeichnet. Die enge Toleranzbreite der Zusammensetzung des Trägermaterials als auch der Summe der impfwirksamen Komponenten sorgt für eine hohe Gleichmäßigkeit im Impfverhalten. Barium verzögert das Abklingen der Impfwirkung.
<u>Anwendung:</u>	TTNoC C _b 07 ist universell einsetzbar und eignet sich für alle Gusseisenwerkstoffe bei denen eine gezielte Graphitausscheidung während der Erstarrung gewünscht ist. Es kann sowohl in der Pfanne als auch im Gießstrahl eingesetzt werden. Auf Grund des verlangsamten Abklingens der Impfwirkung ist es besonders geeignet zur Erst- oder Vorimpfung in der Pfanne bzw. für all jene Fälle, in denen produktionsbedingt eine größere Zeitspanne zwischen Impfung und Erstarrung überbrückt werden muss.
<u>Rahmenanalyse:</u>	67 – 72 % Si 2.0 – 2.7 % Ba 0.8 – 1.5 % Al 0.9 – 1.5 % Ca
<u>Körnung:</u>	2.5 – 6 mm, 0.6 – 2.5 mm, 0.2 – 0.7 mm* Sonderkörnungen für spezielle Anwendungsfälle sind darstellbar
<u>Zugabe:</u>	Die Zugabe hat sich an den Gegebenheiten der jeweiligen Gießerei (Schmelzverfahren, Vorkonditionierung) als auch den Bedürfnissen des jeweiligen Werkstoffes und Werkstückes zu orientieren. Für GJL haben sich Zugaben von 0,05 bis 0,25 % und bei GJS von 0,1 bis 0,5 % als geeignet erwiesen.
<u>Verpackung:</u>	in BigBags oder 25 kg Papiersäcken auf Einweg- oder Tauschpaletten mit oder ohne Schrumpfhaube.
<u>Lagerung:</u>	In Originalverpackung und bei Vermeidung von Feuchtigkeitseinwirkung unbeschränkt.
<u>Transportvorschrift:</u>	Auf dem Landweg kein gefährliches Gut im Sinne der Transportvorschriften.

* in Gießstrahlkörnungen kann der Si-Gehalt ggf. nach unten hin abweichen

30.08.11 Dr. Br.

NIZI International (DE) GmbH, Am Brüll 17, D-40878 Ratingen, Tel.: ++49 (0) 21 02 85 60 00
Dieses Produktdatenblatt entspricht dem heutigen Stand der Kenntnis und soll über das Produkt und dessen Anwendung informieren. Es hat nicht die Bedeutung bestimmte Eigenschaften oder dessen Eignung für einen bestimmten Anwendungsfall zuzusichern und stellt keine vollständige Gebrauchsanweisung dar.

RESi – Impfmittel zur Vorkonditionierung bzw. SE-Vorlegierung

Produkt: RESi ist eine Legierung mit Ferro-Silizium als Trägersubstanz, welche die Hauptwirkstoffe Cer und Lathan vor Oxidation schützt und so eine problemlose Handhabung und nahezu unbeschränkte Lagerung ermöglicht. Seltene Erden unterbinden den negativen Einfluss von Störelementen in GJS und GJV und helfen so Gefügeanomalien zu vermeiden. Zudem weisen Seltene Erden eine hohe Affinität zu Sauerstoff und Schwefel auf. Sie eignen sich daher hervorragend zur Vorkonditionierung von GJS und GJV als auch zur Impfung aller Gußeisenwerkstoffe, bei denen eine gezielte Beeinflussung der Graphitkristallisation notwendig ist. Zur Vorkonditionierung eingesetzt verringern Seltene Erden die Drossgefahr, führen zu langlebigen Graphitkeimen und kompensieren teilweise das Abklingen des Magnesiums. Als Impfmittel bei GJL eingesetzt reduziert RESi die Anfälligkeit für das Auftreten von Mikroporositäten.

Anwendung: RESi wird als SE-Trägerlegierung bei der Produktion von FeSiMg, Impflegierungen oder Fülldraht eingesetzt als auch zur Vorkonditionierung bzw. Impfung von GJS, GJV oder GJL. Wird es zur Vorkonditionierung verwendet ist darauf zu achten, daß die Gesamtmenge der der Schmelze zugesetzten Seltenen Erden (durch Vorkonditionierung, Mg-Behandlung und Impfung) in einem angemessenen Verhältnis zum Gehalt an Spurenelementen in der Basisschmelze und der Gußteilgeometrie steht. Ein übermäßiger Einsatz von Seltenen Erden kann je nach Gußteilgeometrie und Erstarrungsbedingungen zu Graphitentartungen und Chunky Graphit führen.

Analyse:

	RESi	RESi (Ce 99)	RESi (La 99)
SE	min. 30 %	min. 30 %	min. 30 %
Ce	65 ± 2 % der SE	> 99 % der SE	
La	35 ± 2 % der SE		> 99 % der SE
Si*	30 - 60 %	30 - 60 %	30 - 60 %

* Der Si-Gehalt variiert je nach Produktionsmethode zwischen 50 und 60 % bzw. 30 und 45 %

Körnung: 5 – 40 mm und 1-12 mm, Sonderkörnungen auf Anfrage.

Zugabe: Die Zugabe ist abhängig vom Bedarf für das jeweilige Erzeugnis bzw. den Bedürfnissen des jeweiligen Werkstoffes und Werkstückes. Zur Vorkonditionierung von GJS und GJV haben sich Zugaben von 0,01 bis 0,1 % als sinnvoll erwiesen, zur Impfung von GJL sind 0.01 bis 0.06 % ausreichend.

Verpackung: In Bigbags, Fässern oder 25 kg Papiersäcken auf Einwegpalette mit oder ohne Schrumpfhaube.

Lagerung: In Originalverpackung und bei Vermeidung von Feuchtigkeitseinwirkung unbeschränkt

Transport: Auf dem Landweg kein gefährliches Gut im Sinne der Transportvorschriften.

25.07.13 /Dr.Br

NIZI International (DE) GmbH, Am Brüll 17, D-40878 Ratingen, Tel.: ++49 (0) 21 02 85 60 00
Dieses Produktdatenblatt entspricht dem heutigen Stand der Kenntnis und soll über das Produkt und dessen Anwendung informieren. Es hat nicht die Bedeutung bestimmte Eigenschaften oder dessen Eignung für einen bestimmten Anwendungsfall zuzusichern und stellt keine vollständige Gebrauchsanweisung dar.

Nimag, Nical – Nickel-Magnesium und Nickel-Calcium

Produkte: Nimag und Nical sind Nickel-Legierungen deren Hauptbestandteile Magnesium oder Calcium sind. Sie werden aus hochreinen Rohstoffen erschmolzen, weshalb sie nur minimale Anteile anderer Spurenelemente enthalten.

Anwendung: Nimag und Nical sind ideale Vorlegierungen für metallurgische Prozesse bei denen eine Desoxidation und/oder Entschwefelung erforderlich ist. Auf Grund der relativ hohen Dichte der Legierungen zwischen 6 und 8 g/cm³, welche in etwa vergleichbar mit der Dichte von flüssigem Gusseisen oder Stahlschmelzen ist, können diese ohne besonderen Aufwand dosiert werden, reagieren dann moderat unter geringer Qualmentwicklung und mit einer hohen Effizienz. Nical ist eine sehr starke Desoxidations- und Entschwefelungslegierung, welche zu einer sehr sauberen Schmelze nach der Behandlung führt. Allerdings verläuft die Behandlungsreaktion etwas heftiger als beim Einsatz von Nimag.

Analyse:

	Nimag L/C	95/5 Alloy	Nical
Ni	min. 80 %	Rest	Rest
Mg	15 – 17.5 %	4 – 7 %	
Ca			6 – 7 %
Si	max. 0.1 %	max. 0.2 %	max. 0.5 %
C	max. 0.015 %	max. 0.2 %	max. 0.1 %
Fe	max. 0.05 %	max. 0.05%	
Cu	max. 0.2 %		
Se	max. 0.01 %	max. 0.01%	max. 0.01 %
S	max. 0.02 %	max. 0.02 %	max. 0.02 %
P	max. 0.01 %	max. 0.01%	max. 0.01 %
Dichte	5.8 – 6.3 g/cm ³	7.7 – 8.0 g/cm ³	7.2 – 7.8 g/cm ³
Stückigkeit	A,C	C	C

Stückigkeit: A: gekörnt 10-50 mm oder <150 mm
C: Masseln, ca. 700 g per Stück und maximalen Abmessungen von 55 x 40 x 65 mm, andere Abmessungen sind auf Wunsch lieferbar

Zugabe: Die Zugabe richtet sich nach den Anforderungen der jeweiligen Produktion und des jeweiligen Werkstoffes und ist somit Abhängig von verschiedenen Parametern wie z.B. der Zugabeart, der Badtemperatur und dem Basis O- und S-Gehalt der zu behandelnden Schmelze.

Verpackung: In 250 kg Stahlfässern auf Palette.

Lagerung: In Originalverpackung und bei Vermeidung von Feuchtigkeitseinwirkung unbeschränkt.

Transport: Auf dem Landweg kein gefährliches Gut im Sinne der Transportvorschriften.

21.03.14 Dr.Br/PH

NIZI International (DE) GmbH, Am Brüll 17, D-40878 Ratingen, Tel.: ++49 (0) 21 02 85 60 00
Dieses Produktdatenblatt entspricht dem heutigen Stand der Kenntnis und soll über das Produkt und dessen Anwendung informieren. Es hat nicht die Bedeutung bestimmte Eigenschaften oder dessen Eignung für einen bestimmten Anwendungsfall zuzusichern und stellt keine vollständige Gebrauchsanweisung dar.

TTNoC - Impfliegierungen für GJL, GJV und GJS

TTNoC	Anwendung	Si %	Begleitelemente	Al %	Ca %	Ba %	Zr %	Sr %	CerMM %
C_b 05	GJL/GJV	70-79		Max. 1.5	0.7 - 1.5	0.8 - 1.5			
C_b 07	GJL/GJV/GJS	67-72		0.8 - 1.5	0.9 - 1.5	2.0 - 2.7			
C_b 09	GJL/GJV/GJS	63-75		1.2 - 1.8	0.5 - 1.0	4.0 - 7.0			
C_b 12	GJV/GJS	60-70		1.0 - 1.8	0.5 - 1.8	8.0 - 12			
C_b 32	Kokillenspuder	56-63	max. 1 % Mn	0.6 - 1.9	10.5 - 12	1.5 - 2.0	Ba + Zr		
C_bMn 12 100	GJL	60-65	8 - 12 % Mn	0.9 - 1.5	1.5 - 3.0	4.0 - 6.0			
C_{zb}Mn 12 65	GJL	60-67	5 - 8 % Mn	Max. 2.0	1.0 - 1.5	1.8 - 3.0	5.0 - 8.0		
C_{zb}Mn 09 35	GJL	62-70	3 - 4.5 % Mn	0.6 - 1.5	0.6 - 1.9	0.3 - 0.7	3.0 - 5.0		
C_z 10	GJL/GJS	73-79		1.0 - 1.5	2.2 - 2.9		1.0 - 2.0		
V 05	GJL/GJV	70-75		0.9 - 2.0	0.6 - 1.6				
V 10	GJS	70-75		3.3 - 4.4	0.4 - 1.5				
V_{Ti} 03 100	GJL	50-55	9 - 12 % Ti	0.5 - 1.2	0.4 - 1.1				
T 05	GJL/GJV/GJS	70-80		0.6 - 1.2	0.8 - 1.4				1.5 - 2.0 Ce
T 08	GJL/GJV	38-46		0.6 - 1.0	0.4 - 1.0				10 - 15
T_w 06	GJV/GJS	62-72	0.8 - 1.2 % Bi	Max. 1.0	1.6 - 2.5				0.8 - 1.2
U 01	GJL/GJV	72-77		Max. 0.5	Max. 0.1			0.6 - 1.2	
U 03	GJL/GJV	71-78		Max. 0.5	Max. 0.1		1.0 - 1.6	0.6 - 1.2	

Körnungen: Übliche Pfannen- und Gießstrahlkörnungen sind 3 - 8 mm, 2 - 6 mm, 0.6 - 6 mm, 0.6 - 3 mm, 0.6 - 2 mm und 0.2 - 0.7 mm. Die hier angeführten Daten entsprechen den Rahmenanalysen, nähere Informationen zu Besonderheiten und Anwendung der Impfliegierungen geben die jeweiligen Produktdatenblätter.

06.06.11 Dr.Br

NIZI International (DE) GmbH, Am Brühl 17, D-40878 Ratingen, Tel.: +49 (0) 21 02 85 60 00

Dieses Produktdatenblatt entspricht dem heutigen Stand der Kenntnis und soll über das Produkt und dessen Anwendung informieren. Es hat nicht die Bedeutung bestimmte Eigenschaften oder dessen Eignung für einen bestimmten Anwendungsfall zuzusichern und stellt keine vollständige Gebrauchsanweisung dar.

Technisches Produktmerkblatt - Schmelzebehandlung

INOCULIN* 440

Besonders geeignet für Gussteile aus Gusseisen mit Kugelgraphit mit dünnen und mittleren Wanddicken

Produktbeschreibung	INOCULIN 440 ist ein Impfmittel für Gusseisen mit Kugelgraphit.												
Vorteile	INOCULIN 440 ergibt hohe Kugelzahlen. Die Lunkenneigung bei Gusseisen mit Kugelgraphit wird reduziert, da das enthaltene Lanthan kürzere Dendriten fördert.												
Anwendung	Es sind Körnungen für die Gießstrahlimpfung und für die Pfannenimpfung erhältlich. Wismut erzeugt hohe Kugelzahlen, Barium ergibt langsames Abklingen bei Pfannenimpfung, Lanthan reduziert die Tendenz zu Mikroporosität.												
Zugabemenge	GJS: 0,05 – 0,3 %												
Technische Daten	<p>Richtanalyse:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Silizium</th> <th>Wismut</th> <th>Kalzium</th> <th>Lanthan</th> <th>Aluminium</th> <th>Barium</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ca. 65 %</td> <td>ca. 0,3 %</td> <td>ca. 2,5 %</td> <td>ca. 1 %</td> <td>ca. 0,9 %</td> <td>ca. 0,3 %</td> </tr> </tbody> </table> <p>Körnung: 0,2 - 0,7 mm, 0,5 - 2 mm</p>	Silizium	Wismut	Kalzium	Lanthan	Aluminium	Barium	ca. 65 %	ca. 0,3 %	ca. 2,5 %	ca. 1 %	ca. 0,9 %	ca. 0,3 %
Silizium	Wismut	Kalzium	Lanthan	Aluminium	Barium								
ca. 65 %	ca. 0,3 %	ca. 2,5 %	ca. 1 %	ca. 0,9 %	ca. 0,3 %								
Verpackung	25 kg Papiersäcke/ 1000 kg pro Europalette 100 kg Stahl-Einwegfässer/ 600 kg pro Europalette 1000 kg BigBags												
Lagerung & Haltbarkeit	Trocken in gut belüfteten Räumen lagern.												
Sicherheitshinweise	Siehe EG-Sicherheitsdatenblatt.												
Weitere Hinweise	Aus Sicherheitsgründen darf dieses Produkt nur gemäß diesen Anwendungshinweisen eingesetzt werden. Die in diesem Merkblatt genannten Daten sind Richtwerte und stellen keine Spezifikation dar. Technische Änderungen zur Verbesserung der Produkte vorbehalten.												

Technisches Produktmerkblatt - Schmelzebehandlung

INOCULIN* 25

Impflegierung für Pfannenimpfung

Produktbeschreibung	INOCULIN 25 ist eine Universalimpflegierung für alle Gusseisensorten (GJL, GJS und GJV). Wegen des niedrigen Schmelzpunkts und der speziellen Korngrößen ist INOCULIN 25 besonders für Pfannenimpfung geeignet.										
Vorteile	INOCULIN 25 hat eine hervorragende Löslichkeit. Wenn das Impfmittel richtig eingesetzt wird, sind nur kleine Zugabemengen erforderlich.										
Anwendung	Die Zugabe von INOCULIN 25 erfolgt in die Transport- oder Gießpfannen.										
Zugabemenge	GJL/ GJV: 0,1 - 0,4 % GJS: 0,25 - 0,6 %										
Technische Daten	<p>Richtanalyse:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Silizium</th> <th>Zirkon</th> <th>Calcium</th> <th>Aluminium</th> <th>Mangan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ca 66 %</td> <td>ca 4 %</td> <td>ca 1,3 %</td> <td>ca 0,9 %</td> <td>ca 3,7 %</td> </tr> </tbody> </table> <p>Körnung: 0,5 – 2 mm, 2 – 4 mm, 2 – 6 mm</p>	Silizium	Zirkon	Calcium	Aluminium	Mangan	ca 66 %	ca 4 %	ca 1,3 %	ca 0,9 %	ca 3,7 %
Silizium	Zirkon	Calcium	Aluminium	Mangan							
ca 66 %	ca 4 %	ca 1,3 %	ca 0,9 %	ca 3,7 %							
Verpackung	25 kg Papiersäcke/ 1000 kg pro Europalette 100 kg Stahl-Einwegfässer/ 600 kg pro Europalette 1000 kg Bigbag										
Lagerung & Haltbarkeit	Trocken in gut belüfteten Räumen lagern.										
Sicherheitshinweise	Siehe EG-Sicherheitsdatenblatt, Kopie auf Anfrage erhältlich.										
Weitere Hinweise	Aus Sicherheitsgründen darf das genannte Produkt nur gemäß diesen Anwendungshinweisen eingesetzt werden. Die in diesem Merkblatt genannten Daten sind Richtwerte und stellen keine Spezifikation dar. Technische Änderungen zur Verbesserung der Produkte vorbehalten.										

LC GRAPHIDOX

Impflegierungen

Anwendung

Die Elemente Titan und Calcium verleihen dieser Impflegierung für Gusseisen mit Lamellengraphit eine besonders graphitisierende und desoxidierende Wirkung. Außerdem reagiert das im LC Graphidox enthaltene Titan mit dem in der Schmelze vorhandenen Stickstoff. Der abgebundene Stickstoff ist somit im Hinblick auf mögliche Gasblasenbildung im Gussstück unwirksam.

Richtanalyse

% Si	50 – 55
% Ti	9,0 – 11,0
% Ca	0,5 – 1,5
% Al	0,5 – 1,5
% Fe	Rest

Zugabemengen

Die Zugabemengen bei der Pfannenimpfung betragen ca. 0,1 – 0,2 Gewichts-%.

Körnungen

0,124 – 0,7 mm* (Gießstrahlimpfung)
0,3 – 6 mm (Pfannenimpfung)

* In dieser Körnung liegt der Si-Gehalt etwas unter dem oben angegebenen Wert.

Verpackung

- 25 kg Papiersäcke auf Palette
- 150 kg Stahlfässer auf Palette
- 1000 kg Big Bags auf Paletten

Die Gebinde sind mit einer Schutzfolie überzogen.

Lagerfähigkeit und Transport

LC Graphidox ist in Originalverpackung unbeschränkt lagerfähig; eine Feuchtigkeitseinwirkung ist zu vermeiden. Einschlägige Gefahrstoffvorschriften sind einzuhalten. Weitere Auskünfte erteilt unsere Versandabwicklung. LC Graphidox ist kein gefährliches Gut im Sinne der Transportvorschriften.

Technische Eigenschaften & wirtschaftliche Vorteile:

- Reduzierung des freien Stickstoffgehaltes
- Graphitisierende Wirkung
- Mikrolegieren mit Titan
- Geringer Verbrauch
- Gleichmäßige Graphit-ausscheidung
- Verbesserung der mechanischen Eigenschaften



Produktmanagement Metallurgie

Info.Metallurgie-de@ask-chemicals.com

Die Angaben dieses Merkblattes entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten informieren. Sie haben somit nicht die Bedeutung, bestimmte Eigenschaften der Produkte oder deren Eignung für einen konkreten Einsatzzweck zuzusichern, und enthalten keine vollständige Gebrauchsanweisung. Sie stellen auch keine Beschaffenheits- und Haltbarkeitsgarantie dar und der Anwender ist nicht davon befreit, die Eignung und Anwendungsmöglichkeiten für den vorgesehenen Zweck zu prüfen. Etwa bestehende Schutzrechte sind zu berücksichtigen. ASK Chemicals Metallurgy GmbH ist zertifiziert und erfüllt die Anforderungen der DIN EN ISO 9001, 14001, 50001 und OHRIS. Bei Erscheinen einer Neuauflage verliert dieses Merkblatt seine Gültigkeit.

ASKCHEMICALS
We advance your casting



Stand Oktober 2015

Rev 1.2

SB 5

Impflegierungen

Anwendung

SB 5 ist eine hochwirksame Impflegierung auf Basis von Ferrosilicium und eignet sich für Gusseisen mit Lamellengraphit sowie Kugelgraphit. Das Verhalten von Aluminium und Calcium verleiht der Impflegierung eine ausgezeichnete Wirksamkeit in einem breiten Anwendungsbereich. Durch das Legierungselement Barium wird die Abklingzeit des Impfmittels deutlich verlängert und somit eine sichere Impfung über den gesamten Gießprozess gewährleistet.

Richtanalyse

% Si	65 - 73
% Ba	2,0 – 3,0
% Al	1,0 - 1,5
% Ca	0,8 - 1,5
% Fe	Rest

Zugabemengen

Die Zugabemenge richtet sich nach den jeweiligen Einsatzbedingungen (z.B. 0,05 – 0,5 %). Für die Gießstrahlimpfung und Pfannenimpfung sind geeignete Kornfraktionen erhältlich.

Körnungen

0,2 - 0,7 mm*	(Gießstrahlimpfung)
0,6 - 3 mm	(Pfannenimpfung)
2 - 6 mm	(Pfannenimpfung)

* In dieser Körnung liegt der Si-Gehalt etwas unter dem oben angegebenen Wert.

Verpackung

- 25 kg Papiersäcke auf Palette
- 100 kg Stahlfässer auf Palette
- 1000 kg Big-Bags auf Palette

Die Gebinde sind mit einer Schutzfolie überzogen.

Lagerfähigkeit und Transport

SB 5 ist in Originalverpackung unbeschränkt lagerfähig; eine Feuchtigkeitseinwirkung ist zu vermeiden. Einschlägige Gefahrstoffvorschriften sind einzuhalten. Weitere Auskünfte erteilt unsere Versandabwicklung. SB 5 ist kein gefährliches Gut im Sinne der Transportvorschriften.

Technische Eigenschaften & wirtschaftliche Vorteile:

- Gutes Auflöseverhalten
- Hohe Wirksamkeit
- Langanhaltender Impfeffekt
- Geringer Verbrauch
- Gleichmäßige Graphitausscheidung
- Vermeidung von Carbiden
- Verbesserung der mechanischen Eigenschaften



Produktmanagement Metallurgie

Info.Metallurgie-de@ask-chemicals.com

Die Angaben dieses Merkblattes entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten informieren. Sie haben somit nicht die Bedeutung, bestimmte Eigenschaften der Produkte oder deren Eignung für einen konkreten Einsatzzweck zuzusichern, und enthalten keine vollständige Gebrauchsanweisung. Sie stellen auch keine Beschaffenheits- und Haltbarkeitsgarantie dar und der Anwender ist nicht davon befreit, die Eignung und Anwendungsmöglichkeiten für den vorgesehenen Zweck zu prüfen. Etwas bestehende Schutzrechte sind zu berücksichtigen. ASK Chemicals Metallurgy GmbH ist zertifiziert und erfüllt die Anforderungen der DIN EN ISO 9001, 14001, 50001 und OHRIS. Bei Erscheinen einer Neuauflage verliert dieses Merkblatt seine Gültigkeit.

ASKCHEMICALS
We advance your casting



Stand Oktober 2015

Rev 2.0

SB 10

Impflegierungen

Anwendung

SB 10 ist ein Produkt für die Vorimpfung von Gusselenschmelzen. Die Zugabe kann im Schmelzofen, während des Abstichs oder aber auch beim Umschütten erfolgen. Das Material auf der Basis von FeSi ist sowohl für Grauguss als auch für die Anwendung beim Sphäroguss geeignet. Besonders das Element Barium in Kombination mit Aluminium und Calcium verleiht der Legierung einen guten Vorimpfeffekt, was sich vorteilhaft auf den weiteren Prozessablauf auswirkt. Dies äußert sich vor allem durch reduziertes Abklingen der Impfwirkung, eine Begünstigung der Graphitausscheidung, geringere Neigung zu Weißbeinstrahlung und schließlich in einer Verbesserung der mechanischen Eigenschaften der Gussteile.

Richtanalyse

% Si	62 – 70
% Ba	8,0 – 12,0
% Al	1,0 – 1,8
% Ca	0,5 – 1,8
% Fe	Rest

Zugabemengen

Die Zugabemenge richtet sich nach den vorliegenden Bedingungen wie Eisentemperatur, Art und Zeitpunkt der Zugabe und sollte zwischen 0,1 - 0,5 % liegen.

Körnungen

0,2 – 0,7 mm*	(Gießstrahlimpfung)
0,6 – 3 mm	(Pfannenimpfung)
2 – 6 mm	(Pfannenimpfung)

* In dieser Körnung liegt der Si-Gehalt etwas unter dem oben angegebenen Wert. Weitere Gießstrahlkörnungen auf Anfrage.

Verpackung

- 25 kg Papiersäcke auf Palette
- 100 kg Stahlfässer auf Palette
- 1000 kg Big-Bags auf Palette

Die Gebinde sind mit einer Schutzfolie überzogen.

Lagerfähigkeit und Transport

SB 10 ist in Originalverpackung unbeschränkt lagerfähig; eine Feuchtigkeitseinwirkung ist zu vermeiden. Einschlägige Gefahrstoffvorschriften sind einzuhalten. Weitere Auskünfte erteilt unsere Versandabwicklung. SB 10 ist kein gefährliches Gut im Sinne der Transportvorschriften.

Die Angaben dieses Merkblattes entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten informieren. Sie haben somit nicht die Bedeutung, bestimmte Eigenschaften der Produkte oder deren Eignung für einen konkreten Einsatzzweck zuzusichern, und erhalten keine vollständige Gebrauchsanweisung. Sie stellen auch keine Beschaffenheits- und Haltbarkeitsgarantie dar und der Anwender ist nicht davon befreit, die Eignung und Anwendungsmöglichkeiten für den vorgesehenen Zweck zu prüfen. Etwas bestehende Schutzrechte sind zu berücksichtigen. ASK Chemicals Metallurgy GmbH ist zertifiziert und erfüllt die Anforderungen der DIN EN ISO 9001, 14001, 50001 und CHRIS. Bei Erscheinen einer Neuauflage verliert dieses Merkblatt seine Gültigkeit.

Technische Eigenschaften & wirtschaftliche Vorteile:

- Gutes Auflöseverhalten
- Hohe Wirksamkeit
- Langanhaltender Impfeffekt
- Geringer Verbrauch
- Gleichmäßige Graphitausscheidung
- Vermeidung von Carbiden
- Verbesserung der mechanischen Eigenschaften



Produktmanagement Metallurgie

Info.Metallurgy-de@ask-chemicals.com

ASKCHEMICALS
We advance your casting



Stand Oktober 2015

Rev 2.0

SMW 605

Impflegierungen

Anwendung

SMW 605 ist eine hochwirksame Impflegierung auf Basis von Fersosilicium und speziell für Gusseisen mit Kugelgraphit geeignet. Wismut erhöht in starkem Maße in Verbindung mit Ce die Kugelzahl. Um Graphitentartung entgegenzuwirken ist die Präsenz von Seltenen Erdmetallen in angepaßter Konzentration erforderlich. In bekannter Weise werden durch die Erhöhung der Kugelzahl und den damit verbundenen kurzen Diffusionswegen für Kohlenstoff erhöhte Ferritanteile im Gusszustand erzielt.

Richtanalyse

% Si	64 – 70
% Al	max. 1,2 *
% Ca	1,8 – 2,4
% Bi	0,8 – 1,2
%Cer-MM	0,8 – 1,2
*Auf Anfrage Al max. 1,0 %	

Zugabemengen

Entsprechend den jeweiligen Bedingungen, d.h. Basiseisen, Impfverfahren, abzugießende Gussteile etc., werden bei

- Gießstrahlimpfung ca. 0,05 – 0,1%
- Pfannenimpfung ca. 0,2 – 0,3%

als Zugabemenge empfohlen.

Körnungen

0,124 – 0,7 mm*	(Gießstrahlimpfung)
0,2 – 2 mm	(Pfannenimpfung)
0,6 – 2 mm	(Pfannenimpfung)
2 – 6 mm	(Pfannenimpfung)

* In dieser Körnung liegen der Si- und Ca-Gehalt etwas unter dem oben angegebenen Wert.

Verpackung

- 25 kg Papiersäcke auf Palette
- 100 kg Stahlfässer auf Palette
- 1000 kg Big-Bags auf Palette

Die Gebinde sind mit einer Schutzfolie überzogen.

Lagerfähigkeit und Transport

SMW 605 sollte nach der Belieferung zeitnah verbraucht werden. Die Lagerung sollte 3 Monate nicht übersteigen, eine Feuchtigkeitseinwirkung ist zu vermeiden. Einschlägige Gefahrstoffvorschriften sind einzuhalten. Weitere Auskünfte erteilt unsere Versandabwicklung. SMW 605 ist kein gefährliches Gut im Sinne der Transportvorschriften.

Die Angaben dieses Merkblatts entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse und sollen über unsere Produkte und deren Anwendungsmöglichkeiten informieren. Sie haben somit nicht die Bedeutung, bestimmte Eigenschaften der Produkte oder deren Eignung für einen konkreten Einsatzzweck zuzuschreiben, und enthalten keine vollständige Gebrauchsanweisung. Sie stellen auch keine Beschaffenheits- und Haltbarkeitsgarantie dar und der Anwender ist nicht davon befreit, die Eignung und Anwendungsmöglichkeiten für den vorgesehenen Zweck zu prüfen. Etwa bestehende Schutzrechte sind zu berücksichtigen. ASK Chemicals Metallurgy GmbH ist zertifiziert und erfüllt die Anforderungen der DIN EN ISO 9001, 14001, 50001 und OHSAS. Bei Erscheinen einer Neuauflage verliert dieses Merkblatt seine Gültigkeit.

Technische Eigenschaften & wirtschaftliche Vorteile:

- Speziell für GJS-Impfung
- Hohe Impfwirkung
- Geringer Verbrauch
- Starke Erhöhung der Kugelzahl
- Stark ferritisierend
- Verbesserung der mechanischen Eigenschaften



Produktmanagement Metallurgie

Info.Metallurgy-de@ask-chemicals.com

ASKCHEMICALS
We advance your casting



Stand Februar 2016

Rev 2.1