

Machbarkeitsstudie zur Herstellung von mischkristallverfestigtem ferritischem Gusseisen mit Kugelgraphit im Großguss

Dipl.-Ing. Stefan Seidel, Zeitzer Guss GmbH



Agenda

1. Versuchsplanung und Durchführung
2. Versuchsergebnisse
3. Zusammenfassung und Ausblick



1. Versuchsplanung und Durchführung

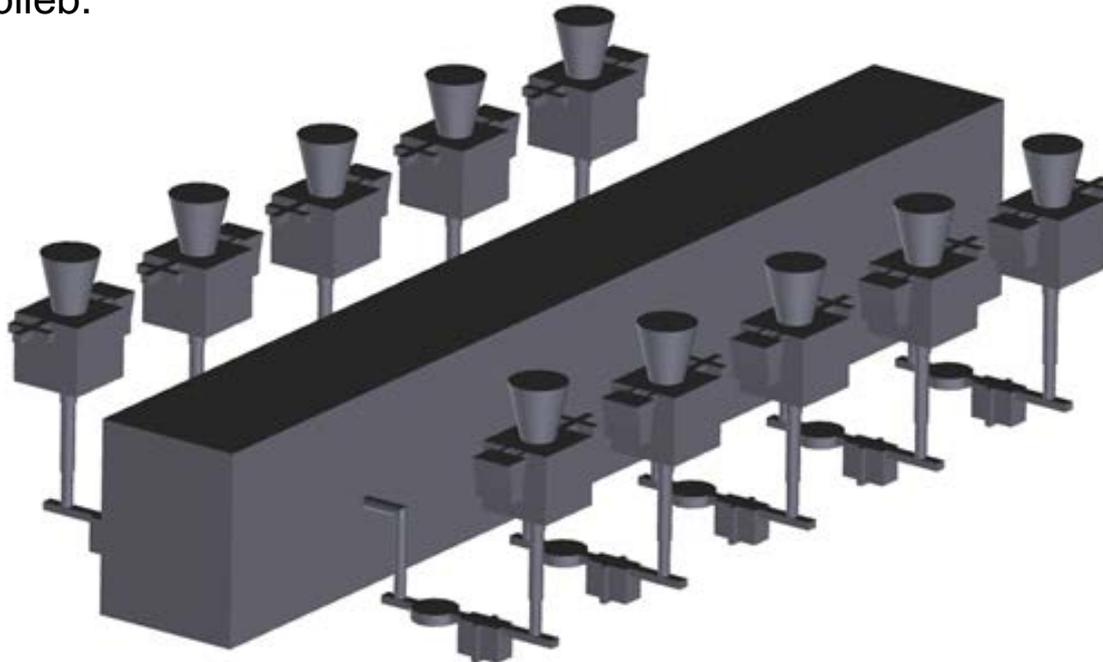
Ziele

1. Entwicklung einer Versuchsanordnung und Festlegung der gießtechnischen Parameter zur Erprobung der mischkristallverfestigten Werkstoffe unter Serienfertigungsbedingungen
2. Definition der mechanischen Kennwerte für den Wanddickenbereich $60 < t \leq 200$ mm und Überprüfung der festgelegten Kennwerte
3. Entwicklung einer Impftechnologie zur Vermeidung von Graphitentartungen, die als Folge von erhöhten Siliziumgehalten auftreten können
4. metallographische Untersuchungen
5. Untersuchung des Speisungsverhaltens der mischkristallverfestigten Werkstoffe unter Beachtung des Eigenspeisungskonzeptes
6. alle Ergebnisse werden gegenüber den Eigenschaften des Ausgangswerkstoffes EN-GJS-400-18-LT dargestellt und diskutiert

Versuchsaufbau

An den Längsseiten eines 20t-Lasteisens wurden jeweils 5 Probekörper getrennt voneinander angeschnitten.

Die gesamte Flüssigeisenmenge von 25t wurde in einen Tümpel gegossen, der bis zum Abschluss des Gießvorgangs (Gießstrahlimpfung; $T_{\text{Gieß}}$) durch einen Stopfen verschlossen blieb.

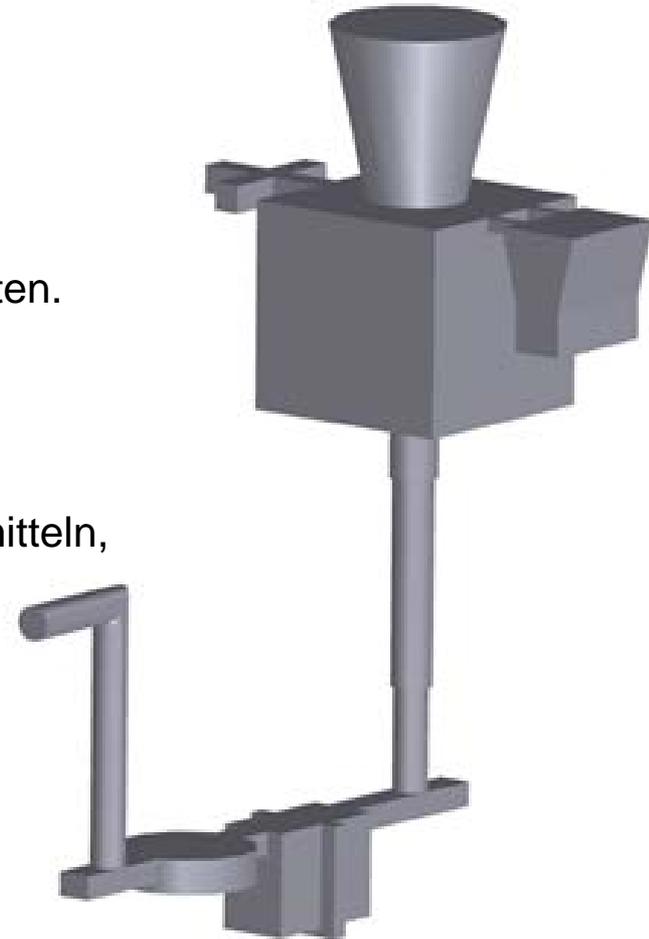


Versuchsaufbau

Die Abmessungen des Probekörpers betragen 300 x 300 x 300 mm.

Zusätzlich werden an jedem Probekörper eine Y4-Angussprobe und ein Lunckerkreuz angeschnitten.

Der Aufbau des Anschnittsystems ermöglicht es die Eigenschaften jedes Probekörpers, durch das Einbringen von Impf- oder Legierungsmitteln, individuell zu beeinflussen.



Die Vorteile des Versuchsaufbaus

1. Für alle Probekörper gelten vom Gattieren bis zum Erstarren die gleichen Randbedingungen (Formstofffestigkeit, Basisschmelze, Gießstrahlimpfung, $T_{\text{Gieß}}$, Formfüllung, etc.).
2. hohe Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse
3. Die Eigenschaften jedes Probekörpers können individuell beeinflusst werden.
4. ausreichend Probenmaterial für die zerstörende und zerstörungsfreie Werkstoffprüfung
5. Die mechanischen Eigenschaften der Bauteilproben können über den Probenquerschnitt dargestellt werden.
6. Die Eigenschaften der Y4-Angussproben und der Bauteilproben können miteinander verglichen werden.

Chemische Analyse

Chemische Analyse inkl. Gießstrahl- und Formimpfung

Im ersten Schritt wurde der Si-Gehalt zum Erreichen der Festigkeitseigenschaften festgelegt und über den Sättigungsgrad der notwendige C-Gehalt berechnet.

		C in [%]	Si in [%]	Mn in [%]	P in [%]	S in [%]	Mg in [%]	S _C
EN-GJS-450-18	min	3,26	3,30	1)	1)	1)	0,035	1,03
	Ziel	3,28	3,40	1)	1)	1)	0,045	1,04
	max	3,30	3,50	0,50	0,05	0,012	0,055	1,05
1) wie Einlauf								
EN-GJS-500-14	min	3,10	3,75	1)	1)	1)	0,035	1,03
	Ziel	3,15	3,80	1)	1)	1)	0,045	1,04
	max	3,20	3,85	0,50	0,05	0,012	0,055	1,05

Mechanische Kennwerte

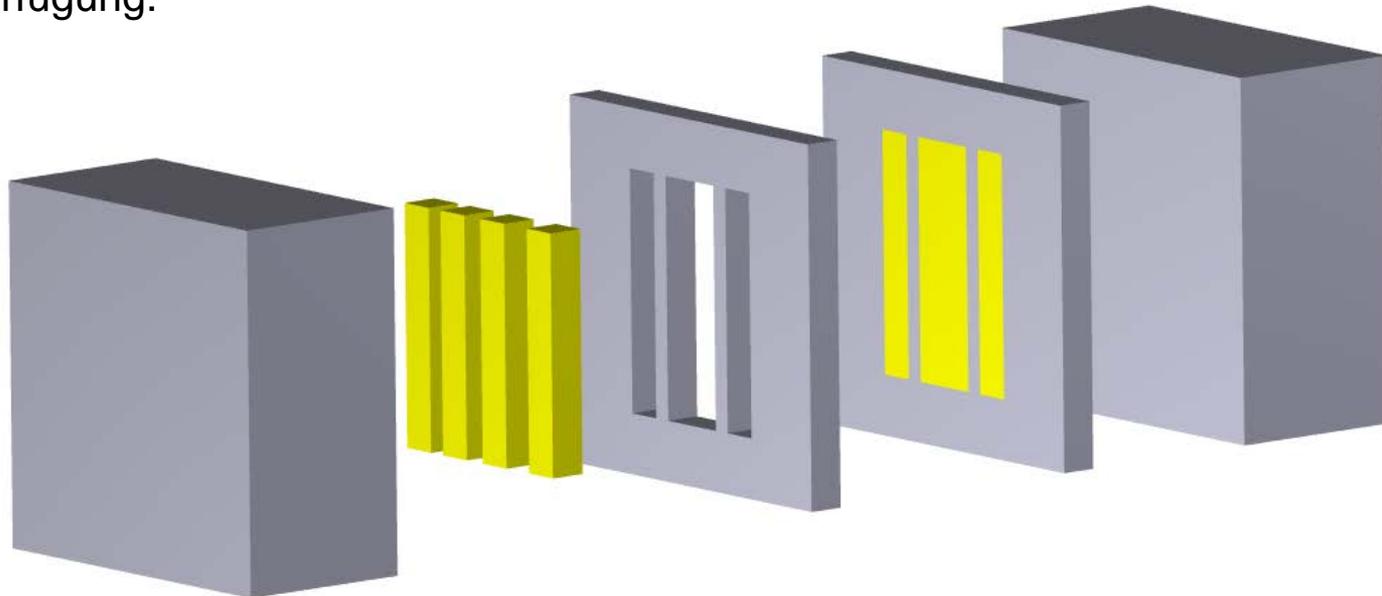
Die aus der DIN EN 1563 bekannte Abstufung der mechanischen Kennwerte, in Abhängigkeit von der Wanddicke, wurde fortgeführt.

Werkstoff	Wanddicke t in [mm]	R _{p0,2%} in [N/mm ²]	R _m in [N/mm ²]	A ₅ in [%]
EN-GJS-450-18	t ≤ 30	350	450	18
	30 < t ≤ 60	340	430	14
	60 < t ≤ 200 ¹⁾	330	410	10
EN-GJS-450-18C	t ≤ 30	350	440	16
	30 < t ≤ 60	340	420	12
	60 < t ≤ 200 ¹⁾	330	400	8
EN-GJS-500-14	t ≤ 30	400	500	14
	30 < t ≤ 60	390	480	12
	60 < t ≤ 200 ¹⁾	380	460	10
EN-GJS-500-14C	t ≤ 30	400	480	12
	30 < t ≤ 60	390	460	10
	60 < t ≤ 200 ¹⁾	380	440	8
¹⁾ nach DIN EN 1563:2012-03 nicht genormt				

Mechanische Kennwerte

Aus dem Zentrum der Probekörper wurden jeweils zwei 30 mm starke Scheiben herausgetrennt. Die Entnahme der Zug- und Kerbschlagproben erfolgte aus definierten Positionen.

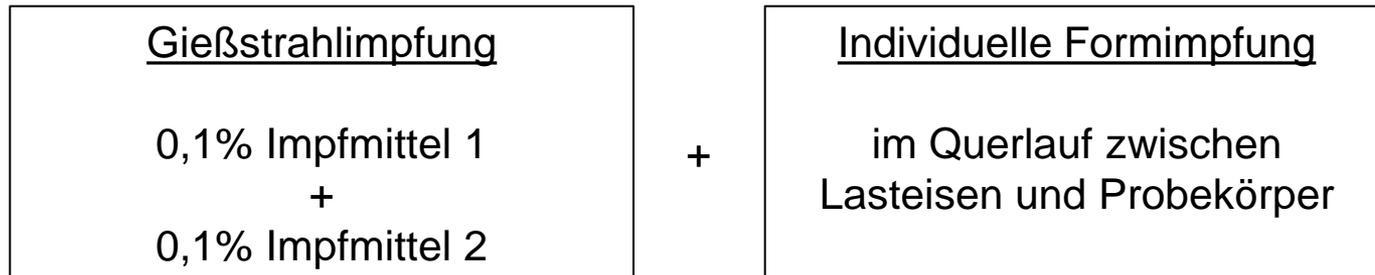
Je Probekörper stehen somit vier Zugstäbe und vier Satz Kerbschlagproben (+20°C, -20°C, HBW, Metallografie und Nasschemie) für die Werkstoffprüfung zur Verfügung.



Impftechnologie

Impfmittel 1: mit den impfwirksamen Bestandteilen Aluminium und Calcium

Impfmittel 2: mit den impfwirksamen Bestandteilen Wismut und SE



Impftechnologie

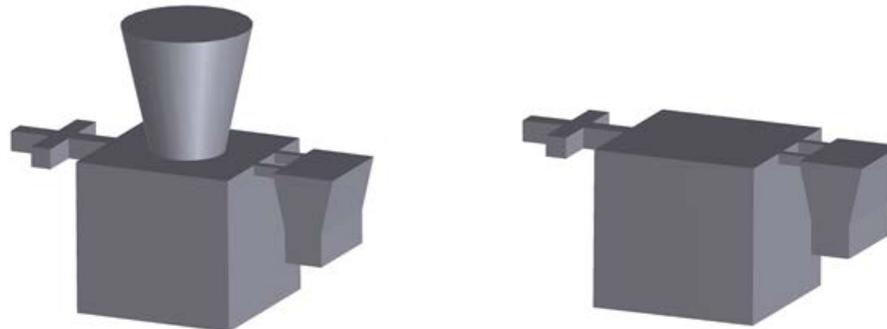
Unabhängig vom erprobtem Werkstoff werden die Probekörper mit der selben Probennummer immer mit der gleichen Impfmittelkombination geimpft.

			Impfmittel 1	Impfmittel 2	Summe
Probekörper 1	Gießstrahlimpfung	+	---	---	0,20%
Probekörper 2			0,05%	---	0,25%
Probekörper 3			0,10%	---	0,30%
Probekörper 6			---	---	0,20%
Probekörper 7			---	0,05%	0,25%
Probekörper 8			---	0,10%	0,30%
Probekörper 4			0,05%	0,05%	0,30%
Probekörper 9			0,10%	0,10%	0,40%

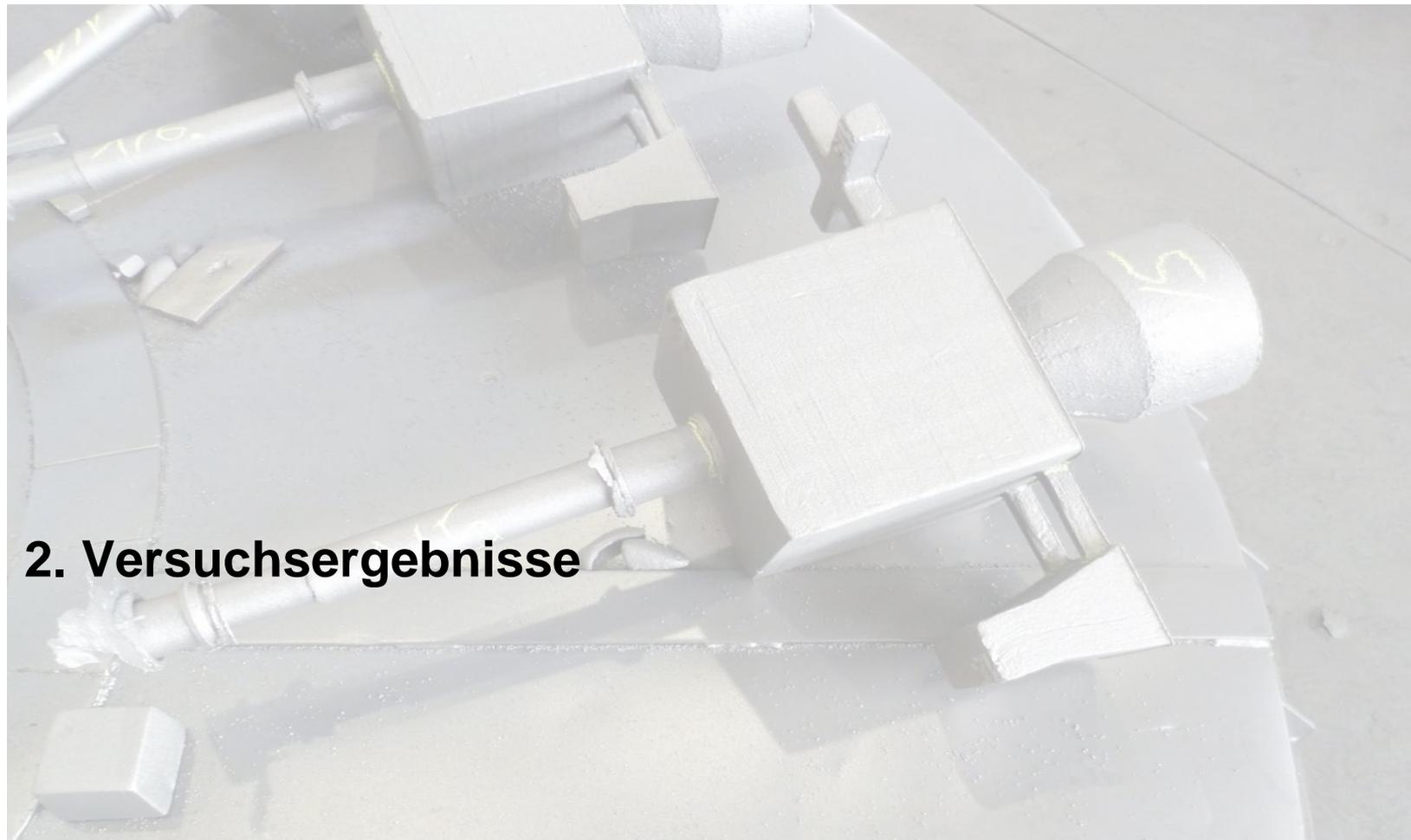
Speisungseigenschaften

Die Randbedingungen für die Bewertung des Speisungsverhaltens können für alle Probekörper als konstant betrachtet werden. Nur die eingebrachte Formimpfung beeinflusst das Speisungsverhalten.

Probekörper mit der gleichen Impfmittelzugabe, z.B. Probekörper 1 und 6, können direkt miteinander verglichen werden. Eine Veränderung der Speisungseigenschaften wird durch gezieltes Entfernen von Speisern erreicht.

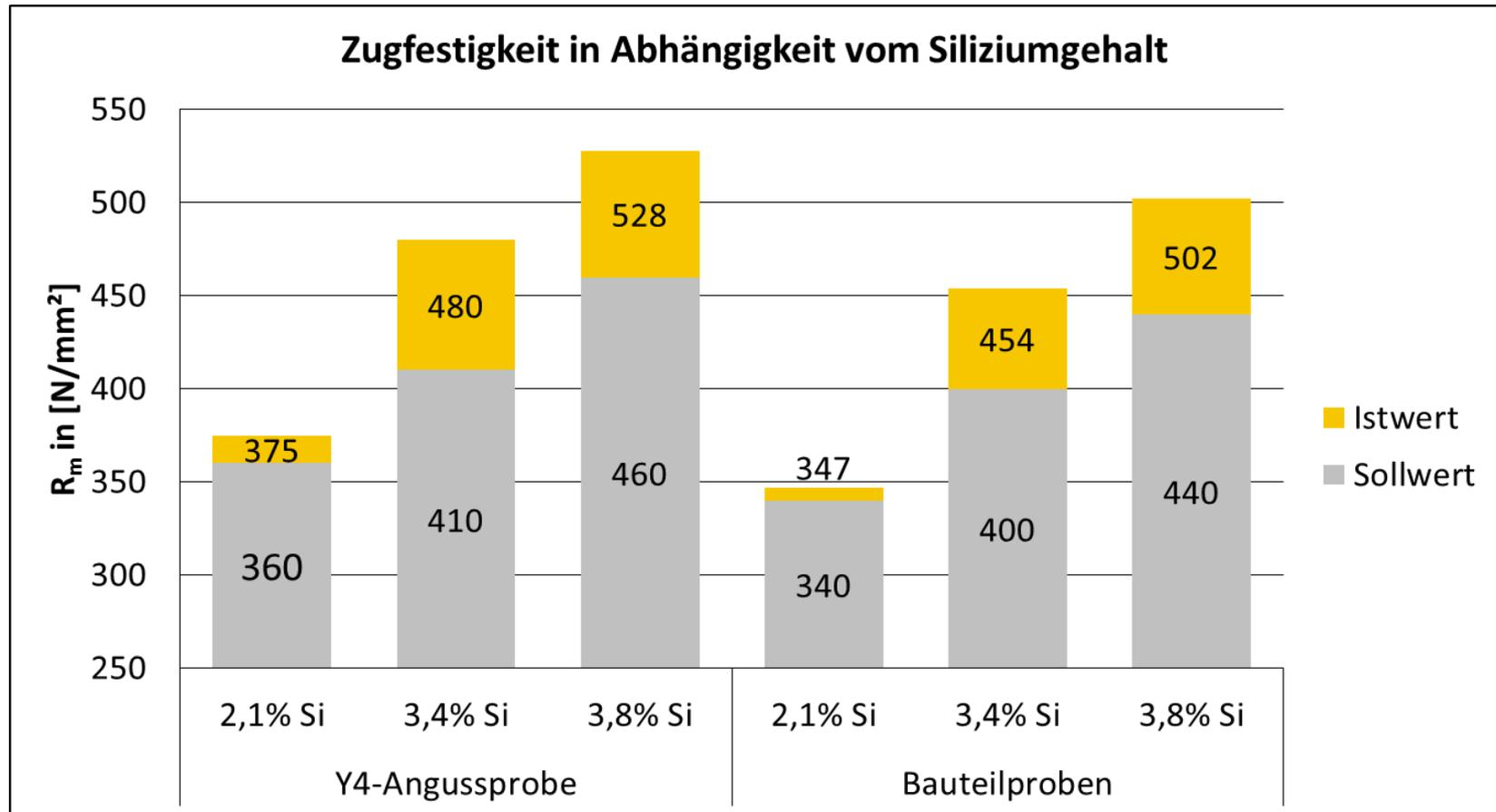


Die Ergebnisse werden durch UT- und RT-Prüfung der Probekörper verifiziert. Eine zusätzliche Vergleichsmöglichkeit bieten die Lunckerkreuze.

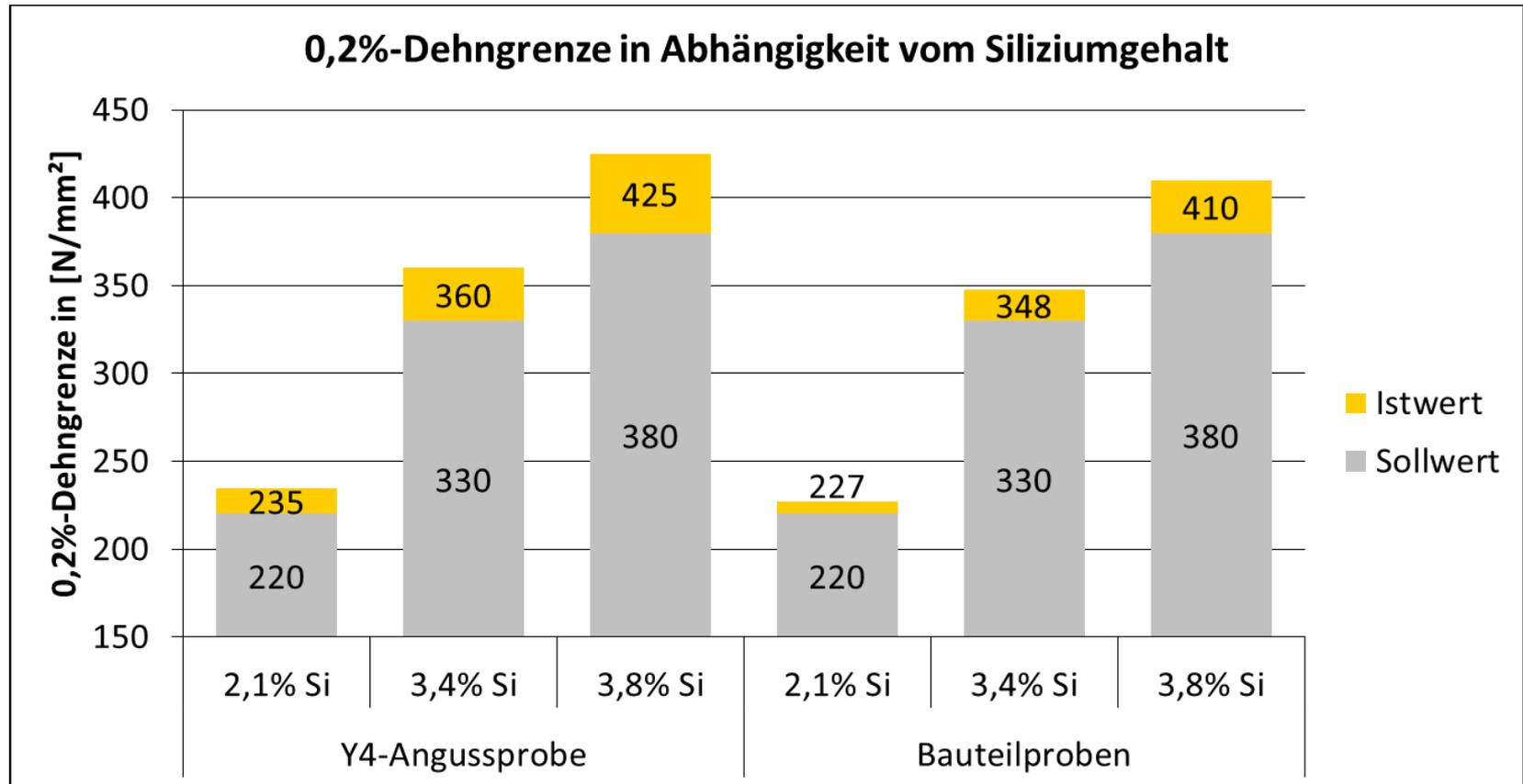


2. Versuchsergebnisse

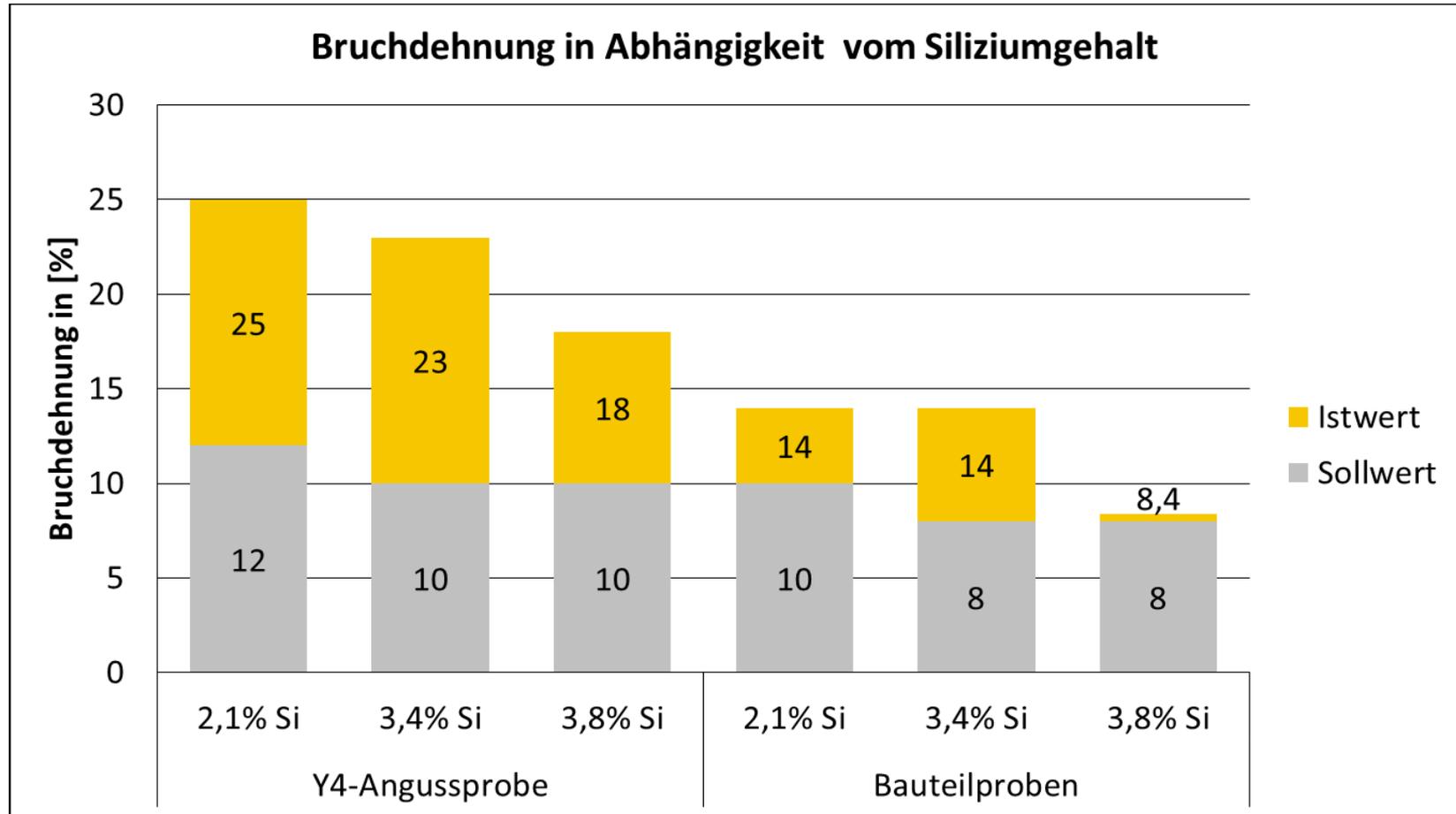
Mechanische Kennwerte



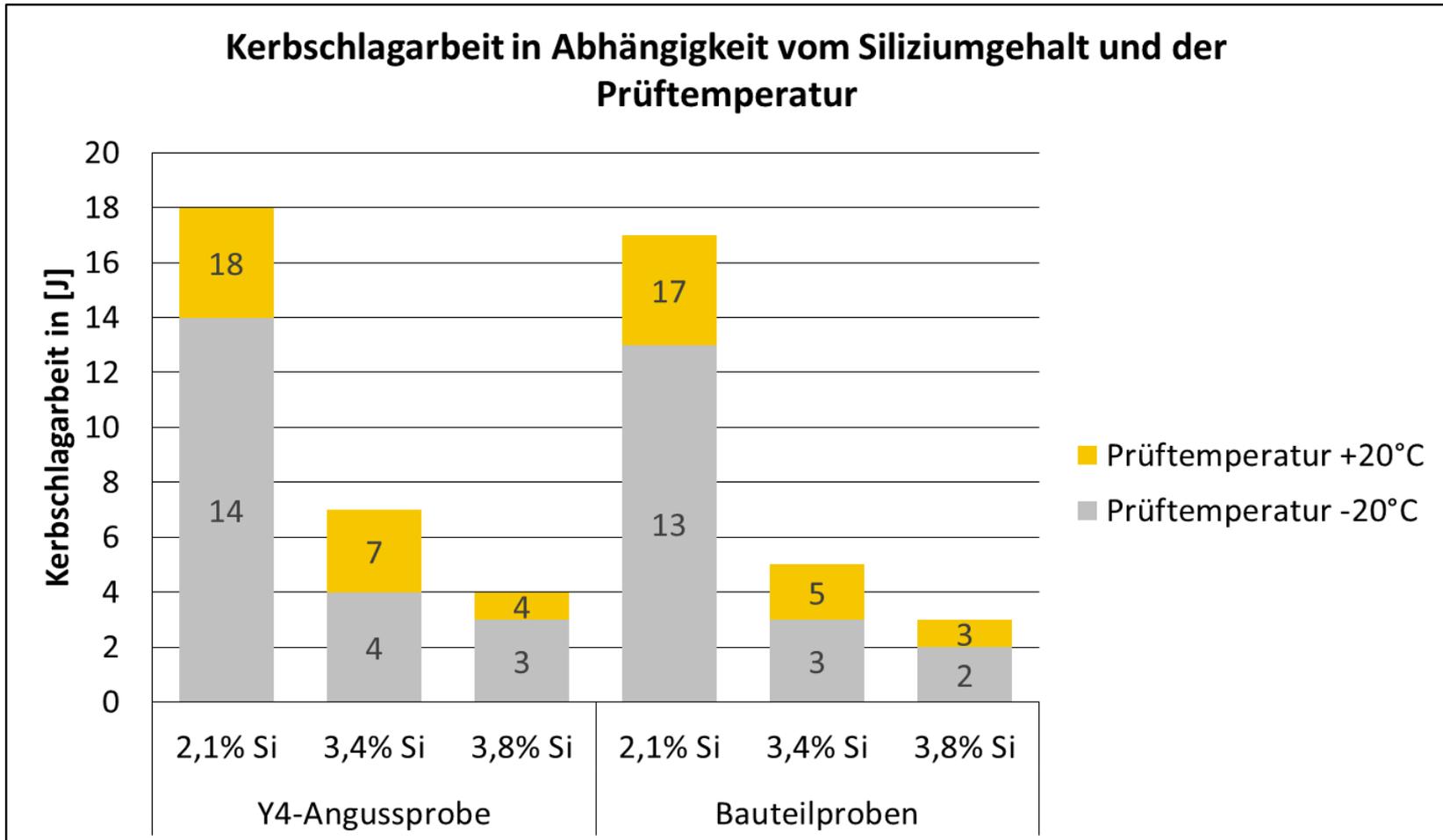
Mechanische Kennwerte



Mechanische Kennwerte



Mechanische Kennwerte



Zusammenfassung mechanische Kennwerte

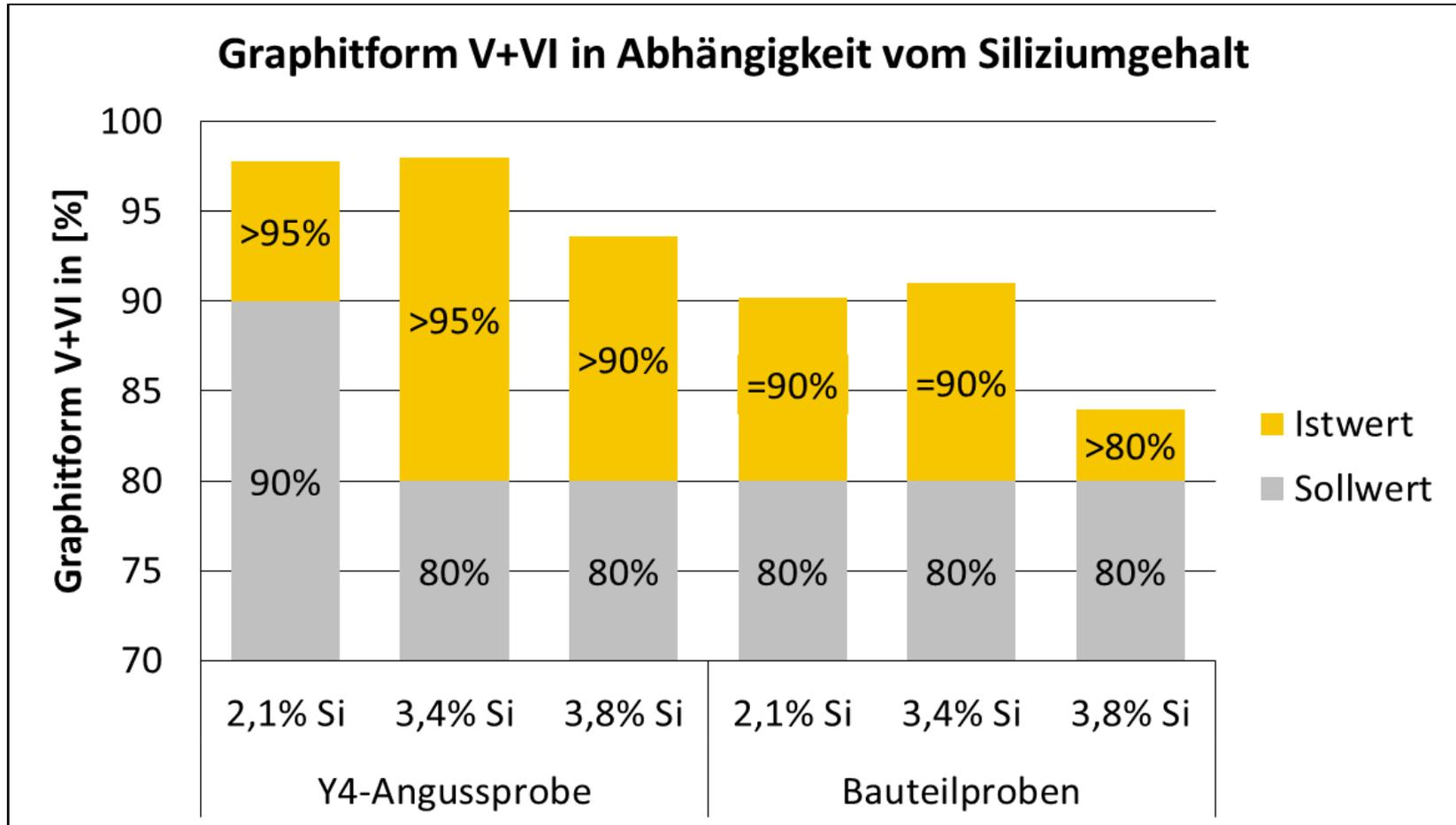
In Abhängigkeit vom Siliziumgehalt tritt die erwartete Werkstoffverfestigung ein (Festigkeitseigenschaften \uparrow , Zähigkeitseigenschaften \downarrow).

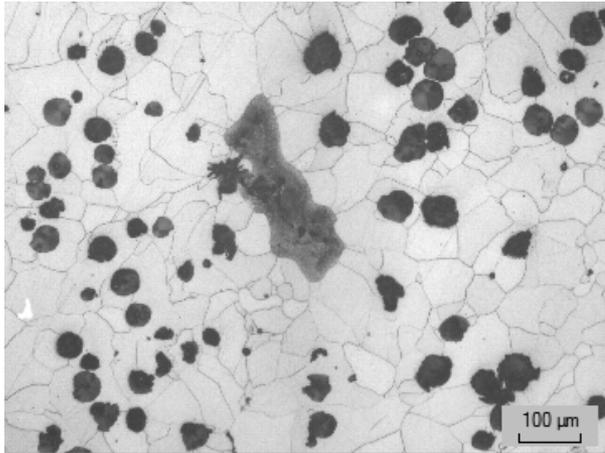
Die Kerbschlagarbeit wird durch die Mischkristallverfestigung deutlich reduziert und kann für die erprobten Werkstoffe nur noch informativ angegeben werden.

Kundenanforderungen an die Kerbschlagarbeit können nicht umgesetzt werden.

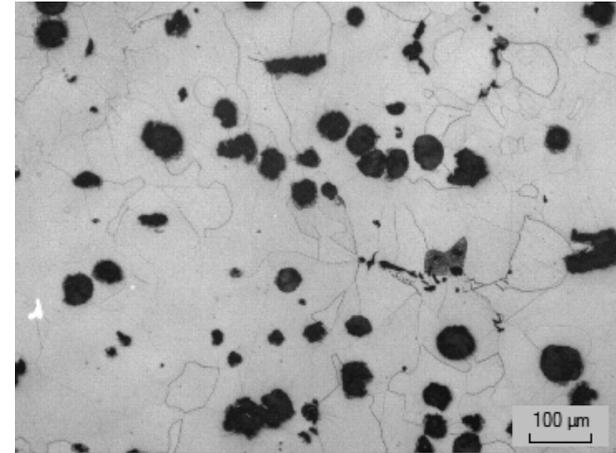
Der Abfall der Bruchdehnung beim Werkstoff EN-GJS-500-14 ist nicht ausschließlich der mischkristallverfestigenden Wirkung des Siliziums zu zuschreiben, sondern muss vielmehr im Zusammenhang zum Graphitformanteil V+VI diskutiert werden.

Gefüge

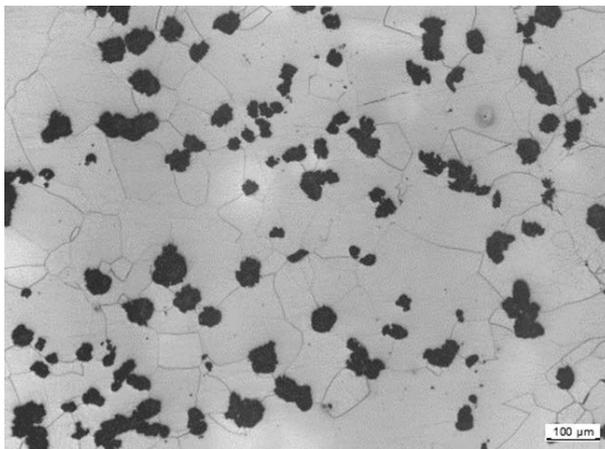




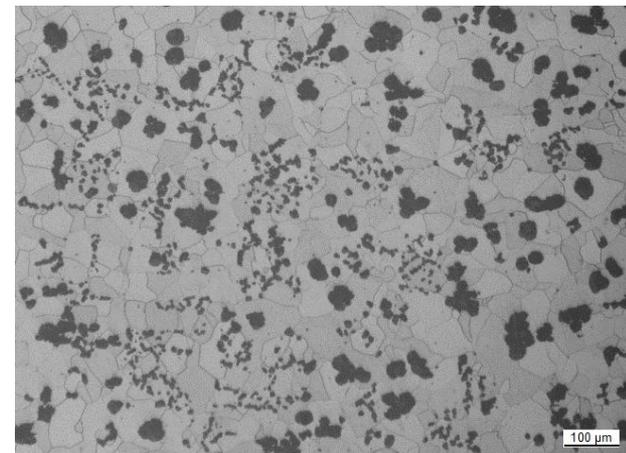
EN-GJS-400-18-LT Position ZR
Serienfertigung



EN-GJS-450-18C Position ZR
0,2% Impfmittel 1 + 0,1% Impfmittel 2

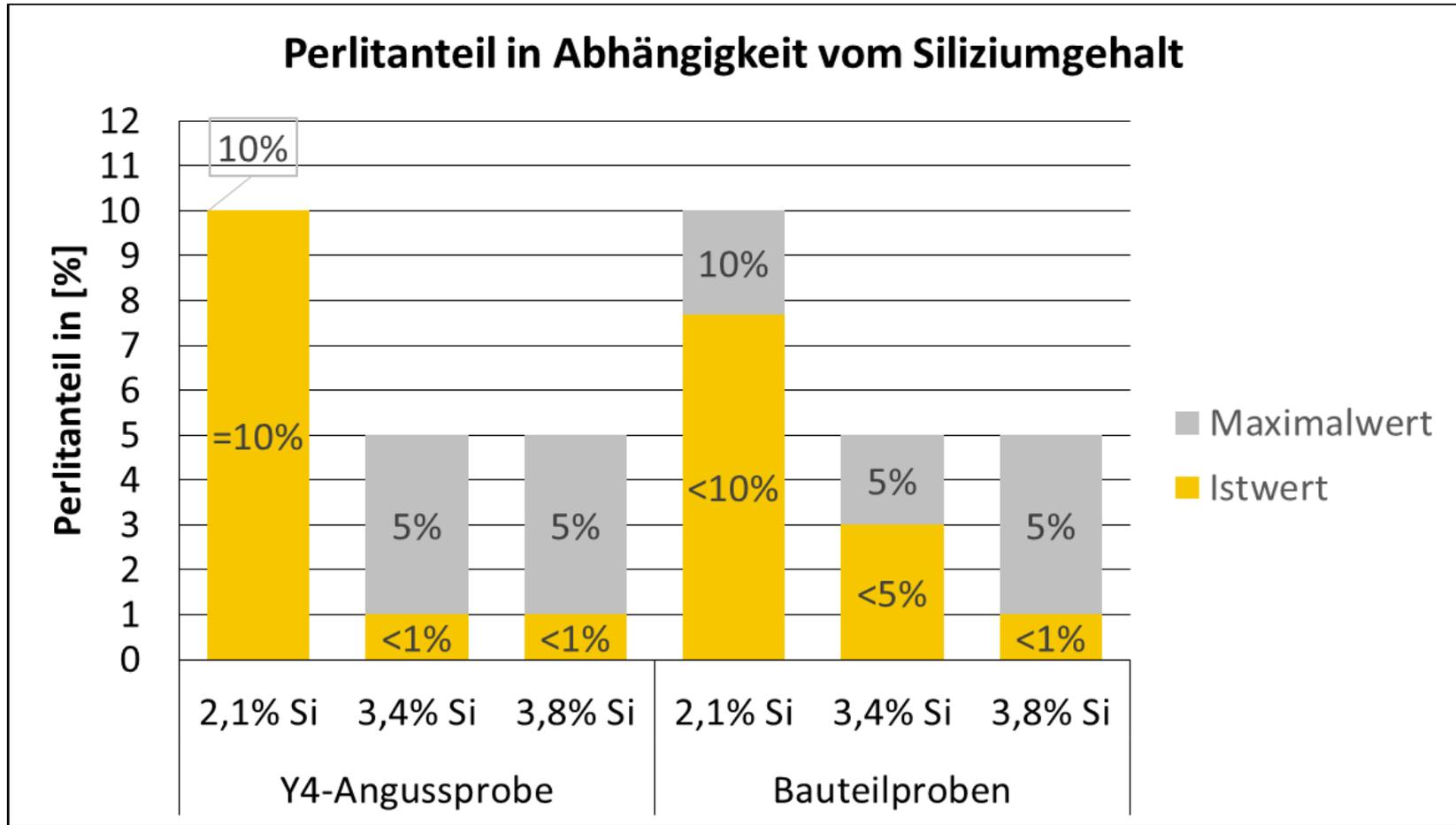


EN-GJS-500-14C Position ZR
0,2% Impfmittel 1 + 0,1% Impfmittel 2



Graphitentartungen EN-GJS-600-10C
Vergleichsbild

Gefüge



Zusammenfassung Gefüge

Graphitentartungen, die durch erhöhte Siliziumgehalte entstehen können, wurden durch die gewählten Impfmittelkombinationen vermieden.

Der Graphitformanteil V+VI und der Perlitanteil sind normgerecht.

Obwohl der Werkstoff EN-GJS-500-14 die Anforderungen an die Graphitform V+VI erfüllt, muss aufgrund des Einflusses auf die Bruchdehnung die Ausbildung der Graphitform verbessert werden.

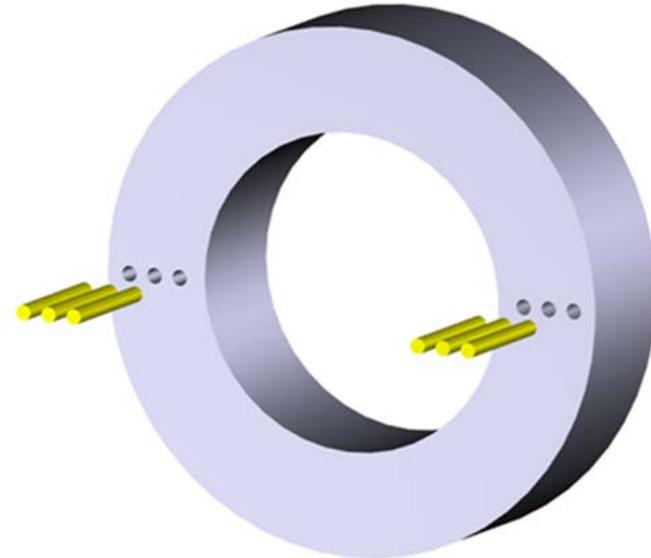
Der Perlitanteil sinkt mit steigendem Siliziumgehalt.

Gussbauteile

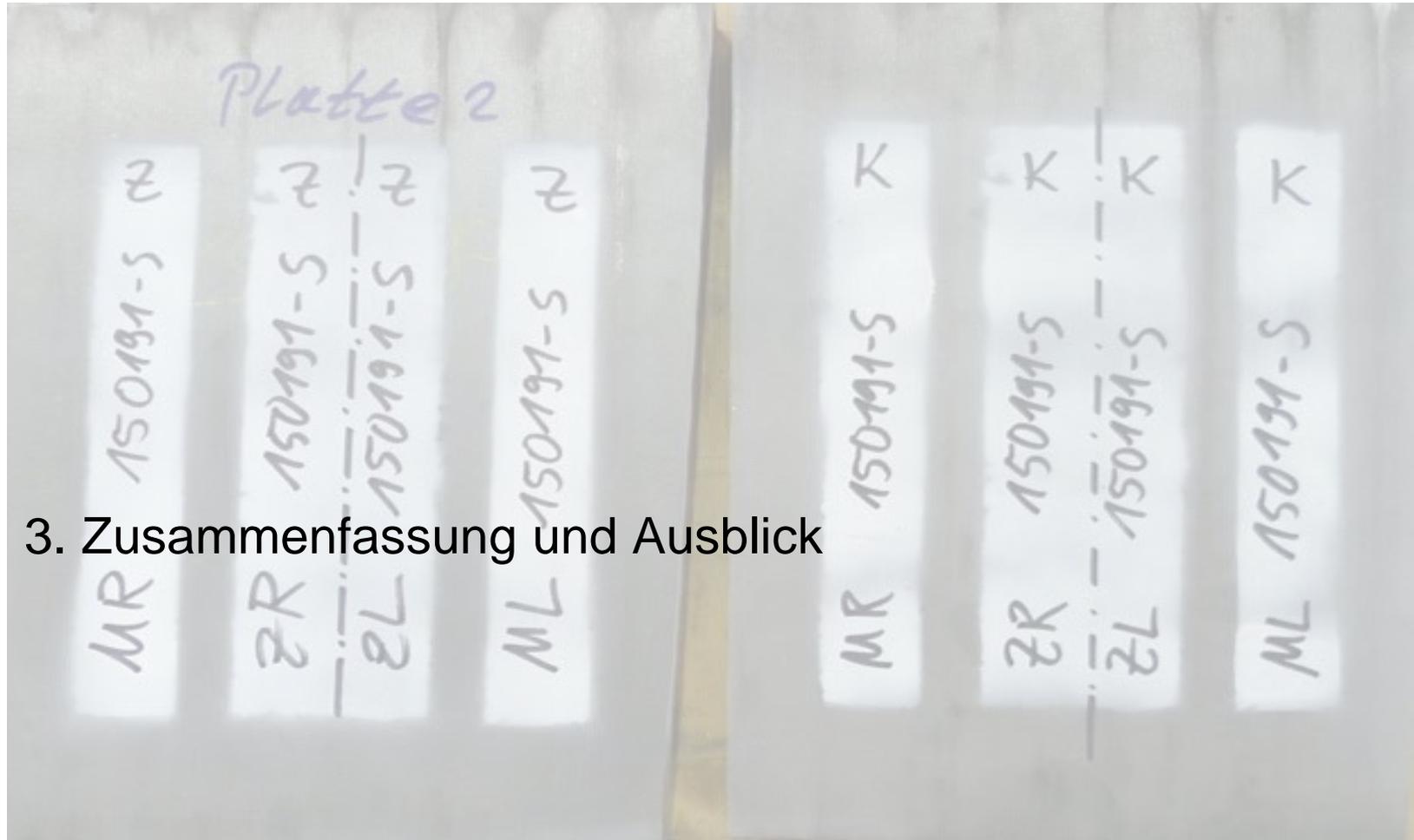
Ausschnitt aus einem 14,5t schweren Gussbauteils für eine Windkraftanlage.

Werkstoff: EN-GJS-500-14C

$d_{\text{außen}} = 1020 \text{ mm}$
 $d_{\text{innen}} = 615 \text{ mm}$
 $t \sim 200 \text{ mm}$



		$R_{p0,2\%}$ in [N/mm ²]	R_m in [N/mm ²]	A_5 in [%]	Form V+VI	Perlitanteil
Soll		380	440	8	≥80%	≤5%
IST	Außen	423	544	18	95%	<1%
	Mitte	415	532	15	95%	<1%
	Innen	414	528	11	95%	<1%



3. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

1. Die definierten Mindestanforderungen an die mechanischen Kennwerte und die Gefügeeigenschaften wurden erreicht.
 2. Durch die gewählten Impfmittelkombinationen konnten Graphitentartungen, die als Folge von erhöhten Siliziumgehalten entstehen können, vermieden werden.
 3. Die erreichbare Bruchdehnung steht im Zusammenhang zum Graphitformanteil V+VI. Es ist ein möglichst hoher Anteil an Graphitform V+VI anzustreben.
 4. Das Speisungsverhalten der mischkristallverfestigten Werkstoffe unterscheidet sich nicht grundsätzlich von dem des Ausgangswerkstoffes.
- Die erprobten mischkristallverfestigten Werkstoffe sind unter Beachtung der beschriebenen Zusammenhänge im Großguss herstellbar!

Ausblick

Versuche:

Die Erprobung des Werkstoffes EN-GJS-600-10 soll ebenfalls mit der vorgestellten Versuchsanordnung erfolgen, um einen vollständigen Überblick über die Werkstoffgruppe zu erhalten.

Gussbauteile:

Aktuell befinden sich zwei aus dem Werkstoff EN-GJS-500-14 gegossene Bauteile für Windkraftanlagen im Bemusterungsprozess.

Die mit einem Rohgussstückgewicht von jeweils 14,5t und 35t schweren Komponenten sollen noch 2016 zur Serienreife geführt werden.

Die Bemusterung umfasst u.a. Untersuchungen zur Langzeitschwingfestigkeit (HCF) und den Einsatz auf einem Teststand. → Die Ergebnisse liegen noch nicht vor.

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!
Glück Auf!**

