

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 18823 N / 1

## Thema

Optimierung industrieller Korundsleifprozesse zur Sicherstellung der Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle

## Berichtszeitraum

01.01.2016 bis 31.12.2018

## Forschungsvereinigung

GfKORR - Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V.  
Theodor-Heuss-Allee 25  
60486 Frankfurt am Main

## Forschungseinrichtung(en)

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)  
Unter den Eichen 87  
12205 Berlin

Berlin, 28.03.2019

---

Ort, Datum

  
Dr.-Ing. Andreas Burkert

---

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der  
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:

# Schlussbericht



Bundesanstalt für  
Materialforschung  
und -prüfung

für den Zeitraum 01.01.2016 bis 31.12.2018  
zum AiF Forschungsvorhaben 18823 N / 1

mit dem Thema:

## **Optimierung industrieller Korundschleifprozesse zur Sicherstellung der Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle**

FST: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)  
FB 7.6 „Korrosion und Korrosionsschutz“  
Unter den Eichen 87  
12205 Berlin

Projektleiter: Dr.-Ing. Andreas Burkert

Bearbeiter: M.Sc. Steffi Reinemann  
Dipl.-Ing. (FH) Jens Lehmann  
Dr.-Ing. Paul Rosemann  
M.Sc. Martin Babutzka  
Tatjana Bohlmann

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	4
1 Einleitung .....	5
2 Untersuchungsmaterialien.....	6
2.1 Verwendete Werkstoffe.....	6
2.2 Herstellung eines definierten Ausgangszustands .....	7
2.3 Verwendete Schleifmittel .....	8
2.4 Schleifparameter .....	9
2.5 Parametermatrix und Probenbezeichnung .....	10
3 Durchgeführte Untersuchungen .....	14
3.1 Mikroskopische Charakterisierung des Gefüges und der Oberflächen.....	14
3.2 Benetzungsverhalten .....	15
3.3 Elektrochemische Untersuchungen.....	16
3.3.1 Bestimmung kritischer Potentialwerte .....	16
3.3.2 Elektrochemisch potentiodynamische Reaktivierung.....	17
3.3.2.1 Elektrochemisch potentiodynamische Reaktivierung mit Double-Loop (EPR-DL).....	17
3.3.2.2 Elektrochemisch potentiodynamische Reaktivierung mit Single-Loop (EPR-SL) .....	18
3.4 KorroPad Prüfung .....	20
3.5 Auslagerungsversuche .....	22
3.5.1 Salzsprühnebelprüfung.....	22
3.5.2 Freibewitterung in städtischer Atmosphäre.....	22
3.6 Defektanalyse .....	24
4 Ergebnisse der Stahlgüte 1.4301.....	25
4.1 Ergebnisse der mikroskopischen Charakterisierung des Gefüges und der Oberflächen.....	25
4.1.1 Gefüge.....	25
4.1.2 Rauheitskennwerte.....	25
4.1.3 REM-Untersuchung .....	30
4.2 Ergebnisse Benetzungsverhalten .....	33
4.2.1 Parametervariation .....	33
4.2.2 Einfluss Feuchtauslagerung.....	34
4.3 Ergebnisse elektrochemischer Untersuchungen .....	35
4.3.1 Kritisches Korrosionspotential .....	35
4.3.2 Elektrochemisch potentiodynamische Reaktivierung.....	37
4.3.2.1 EPR-DL .....	37
4.3.2.2 EPR-SL.....	38
4.4 Ergebnisse KorroPad.....	41

4.4.1	Einfluss Schleifband.....	41
4.4.2	Einfluss KBF4 .....	46
4.4.3	Einfluss Feuchtauslagerung.....	47
4.4.4	Einfluss Wiederholungsschliff .....	48
4.4.5	Einfluss Schleifvlies .....	49
4.5	Ergebnisse Salzsprühnebelprüfung.....	51
4.6	Ergebnisse Defektanalyse .....	52
4.6.1	Untersuchung granulatgeschliffener Oberflächen mittels KorroPad und REM .....	52
4.6.2	Schleifbanduntersuchung.....	52
5	Ergebnisse der Relevanzprüfung mit der Stahlgüte 1.4404.....	55
5.1	Mikroskopische und elektrochemische Charakterisierung des 1.4404 .....	55
5.2	Einfluss Schleifvlies .....	57
6	Diskussion der Ergebnisse.....	59
7	Literatur.....	68
8	Gegenüberstellung der Ergebnisse zu den vorgegebenen Zielen.....	69
9	Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft.....	72
9.1	Durchgeführte und geplante spezifische Transfermaßnahmen während der Laufzeit des Vorhabens:.....	72
9.2	Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit .....	73
	Förderhinweis und Danksagung.....	74

## Zusammenfassung

Durch eine breite Beteiligung von Schleifmittelherstellern, -anwendern und wissenschaftlichen Einrichtungen im projektbegleitenden Ausschuss (PA) konnte der vielschichtige Themenkomplex „Schleifen“ im Kontext zu den Projektzielen umfassend untersucht werden. Es wurden praxisrelevante Parameterfelder definiert, die eine erfolgreiche Aufklärung der Projektfragestellung ermöglichten.

Im Zuge der Untersuchungen wurde ein signifikanter Einfluss beim Einsatz von Granulatschleifbändern auf das Korrosionsverhalten geschliffener Oberflächen festgestellt. Damit zeigten geschliffene Oberflächen regelmäßig eine schlechtere Korrosionsbeständigkeit als Oberflächen, die mit sonst gleichen Parametern mit einlagig gestreuten Bändern bearbeitet wurden.

Die durch einige Untersuchungsergebnisse aus vorangegangenen AiF-Vorhaben ursprünglich verfolgte These, dass Unterschiede in der Korrosionsbeständigkeit auf die Kornart der Schleifmittel Korund bzw. SiC zurückzuführen ist, konnte nur bedingt bestätigt werden. Bei den systematischen Untersuchungen innerhalb dieses Projektes erwies sich der Einfluss der Kornart im Vergleich zum Einfluss des Schleifbandtyps (Granulat bzw. einlagig gestreutes Korn) als weniger relevant.

Durch weiterführende Untersuchungen konnten auf Oberflächen, die mit Granulatschleifbändern bearbeitet wurden, große Materialaufplattungen aus Eigenmaterial festgestellt werden. Das Eigenmaterial wird dabei im Schleifprozess zunächst abgetragen und aufgrund der Topografie des Schleifbandes zeitweise auf den Bändern festgehalten. Später lösen sich diese Materialanhäufungen vom Band ab und können prozessbedingt durch Wärme- und Krafteinwirkung auf den bearbeiteten Oberflächen aufgeplattet werden. Durch REM und KorroPad Untersuchungen ließen sich Bereiche mit solchen Eigenmaterialaufplattungen eindeutig als wesentliche Ausgangspunkte für Korrosionsprozesse identifizieren. Das aufgeplattete Material ist stark verformt, thermisch beeinflusst und bildet eine Spaltgeometrie zur Bauteiloberfläche aus. Diese Veränderungen führen zur Störung der Passivschichtausbildung in diesen Bereichen und verursachen damit eine erhöhte Korrosionsanfälligkeit der Oberflächen.

Durch gezielte Nachbearbeitungsprozesse ist es möglich, die Eigenmaterialaufplattungen von den Oberflächen zu entfernen. Im Rahmen des Vorhabens wurde dazu eine Nachbearbeitung mittels Schleifvlies geprüft, die zu einer Entfernung der Eigenmaterialaufplattungen und damit zu einer Wiederherstellung der erwarteten Korrosionsbeständigkeit führte. Wird der Endschliff von Oberflächen mit einlagig gestreutem Korn ausgeführt, sind ebenfalls keine korrosionsrelevanten Materialaufplattungen zu erwarten.

Die in einem vorhergehenden AiF Vorhaben IGF 17136 N/1 entwickelte Methode der KorroPad-Prüfung konnte auch hier erfolgreich für die Untersuchung der Auswirkung unterschiedlicher Prozessparameter auf die Korrosionsbeständigkeit der Oberflächen eingesetzt werden. Zudem erwies sich das EPR-SL-Verfahren als ein weiterer Ansatz, um die Passivschichtstabilität verschieden geschliffener Oberflächen vergleichend untersuchen zu können.

Mit den nun vorliegenden Erkenntnissen können kmU künftig durch Anpassungen und Optimierung von Schleifprozessen eine gute Korrosionsbeständigkeit der bearbeiteten Oberflächen sicherstellen. Die Optimierung der Prozessparameter und -schritte kann durch den Einsatz der KorroPad-Prüfung Inhouse erfolgen und somit die laufende Fertigung im Rahmen der Qualitätsprüfung überwacht und dokumentiert werden.

**Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.**

## 1 Einleitung

Unternehmen in der metallverarbeitenden Industrie berichten verstärkt über ein ungewöhnliches Korrosionsverhalten von Bauteilen und Profilen aus austenitischen nichtrostenden Stählen nach Schleifprozessen unter eigentlich unkritischen Einsatzbedingungen. Das Projekt hat zum Ziel, durch eine an die Problematik angepasste Herangehensweise den Einfluss von Bandschleifprozessen mit Korund- und Siliziumkarbidkorn auf das Korrosionsverhalten austenitischer nichtrostender Stähle zu untersuchen und damit das ungewöhnliche Korrosionsverhalten nach Korundschleifprozessen aufzuklären. Diese Problematik hat bisher noch keine tiefgehende Beachtung in wissenschaftlichen Untersuchungen gefunden, weshalb der bisherige Stand des Wissens für eine Aufklärung der Ursachen nicht ausreicht. Die Untersuchungen sollen nicht zu einer Werkstoff- oder Verfahrenssubstitution führen, da diese für die KMU nicht ohne große finanzielle Umstände möglich sind. Vielmehr sollen als Ergebnis der Untersuchungen Regelwerke und technische Merkblätter entstehen, in denen Schleifparameter, Grenzbereiche oder auch notwendige Nacharbeiten festgelegt werden, die es den Unternehmen ermöglichen, mit Korundschleifmitteln unkritisch hinsichtlich der späteren Korrosionsbeständigkeit im Einsatzfall zu schleifen. Dadurch können erhebliche Kosten eingespart werden, die durch Reklamationen und mehrfache, extrem zeitaufwändige Nacharbeiten an den fertigen Installationen entstehen. Als Grundlage für das Projekt wird ein Referenzwerkstoff mit einem definierten Probenzustand umfassend mittels elektrochemischer Korrosionsuntersuchungen und oberflächenanalytischer Verfahren charakterisiert. Anhand definierter Schleifversuche an diesem Referenzzustand werden anschließend verschiedene Schleifzustände erzeugt, die mit den gleichen Methoden beurteilt werden. Somit wird es möglich, den Einfluss einzelner Schleifparameter auf das Korrosionsverhalten herauszufiltern und unkritische Parameterbereiche festzulegen.

## 2 Untersuchungsmaterialien

### 2.1 Verwendete Werkstoffe

Für die Versuche wurden zunächst Blechproben aus dem Werkstoff 1.4301 (X5CrNi18-10) verwendet, die bereits für das IGF Forschungsvorhaben 17136 N/1 zum Einsatz kamen und hinlänglich untersucht worden sind. Diese Werkstoffcharge hatte aus verfahrenstechnischen Gründen für die Weiterbearbeitung des Bleches durch Umformprozesse gezielt einen erhöhten Nickelgehalt von ca. 9,2 Gew.-%. Üblicherweise liegen die Nickelgehalte bei einem Werkstoff 1.4301 aus Kostengründen eher im Bereich um 8,0 – 8,2 Gew.-%. Dieser erhöhte Nickelgehalt führt zu Veränderungen der mechanisch-technologischen Eigenschaften, deren Einfluss auf die Spanbildung beim Schleifen bislang nicht ausreichend untersucht ist. Um für die breite Anwendung in der Praxis relevante Ergebnisse zu erhalten, wurde seitens des projektbegleitenden Ausschusses (PA) daher entschieden, für die systematischen Untersuchungen innerhalb dieses Vorhabens eine Werkstoffcharge mit einem typischen Nickelgehalt für den Werkstoff 1.4301 auszuwählen.

Für die Relevanzprüfung am nichtrostenden Stahl 1.4404 wurde ebenfalls eine typische Charge ausgewählt.

Die Legierungsgehalte der Alt- und Neucharge des 1.4301, des 1.4404 sowie die Sollwerte nach DIN EN 10088-1 [1] können der Tab. 1 entnommen werden.

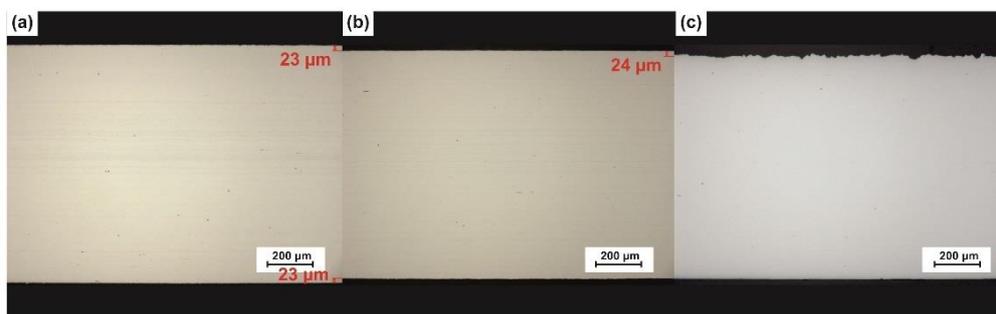
**Tab. 1:** Legierungszusammensetzung der verwendeten Werkstoffchargen und normative Sollwerte nach DIN EN 10088-1

Probe	Legierungszusammensetzung in M.-%									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	N
1.4301 (X5CrNi18-10) Charge 123077 aus IGF 17136 N/1	0,04	0,42	1,2	0,029	0,003	17,6	0,30	9,19	0,32	0,037
1.4301 (X5CrNi18-10) Charge 886122 Outokumpu)	0,05	0,39	1,4	0,031	0,004	17,7	0,28	8,24	0,41	0,053
1.4301 (X5CrNi18-10) Sollwerte nach DIN EN 10088-1	< 0,07	< 1,0	< 2,0	< 0,045	< 0,015	17,5 - 19,5	-	8,0 - 10,5	-	< 0,10
1.4404 (X2CrNiMo17-12-2) aus IGF 17136 N/1	0,02	0,45	0,97	0,032	0,001	16,59	2,02	10,01	-	0,055
1.4404 (X2CrNiMo17-12-2) Sollwerte nach DIN EN 10088-1	< 0,03	< 1,0	< 2,0	< 0,045	< 0,015	16,5 - 18,5	2,00 - 2,50	10,0 - 13,0		< 0,10

Aus dem Blechband des 1.4301 wurden für die Weiterbearbeitung Probenrohlinge mit den Abmessungen 230 x 44 x 1 mm gefertigt. Die Bleche des 1.4404 lagen in den Abmaßen 500 x 60 x 1 mm vor.

## 2.2 Herstellung eines definierten Ausgangszustands

Die Stahlbleche im kaltgewalzten Anlieferungszustand wurden zunächst von der Fa. Henkel Beiz- und Elektropolieretechnik elektropoliert, um die möglicherweise beeinflusste Werkstoffrandzone zu entfernen und einen definierten und vergleichbaren Oberflächenzustand zu erzeugen. Die elektropolierten Bleche waren der Ausgangszustand für alle Schleifversuche. Durch diese Vorbehandlung konnte ein späteres unterschiedliches Korrosionsverhalten der Proben auf die Schleifparameter zurückgeführt werden. Das Erscheinungsbild der Oberflächen im Anlieferungszustand sowie nach dem Elektropolieren und Schleifen ist mit den jeweiligen ungefähren Abtragsraten exemplarisch in der Abb. 1 dargestellt.



**Abb. 1:** Erscheinungsbild der Oberfläche im kaltgewalzten Anlieferungszustand (a), nach dem Elektropolieren (b) und nach dem Schleifen (c) mit jeweiligem Materialabtrag, metallografische Aufnahmen am ungeätzten Querschliff [2]

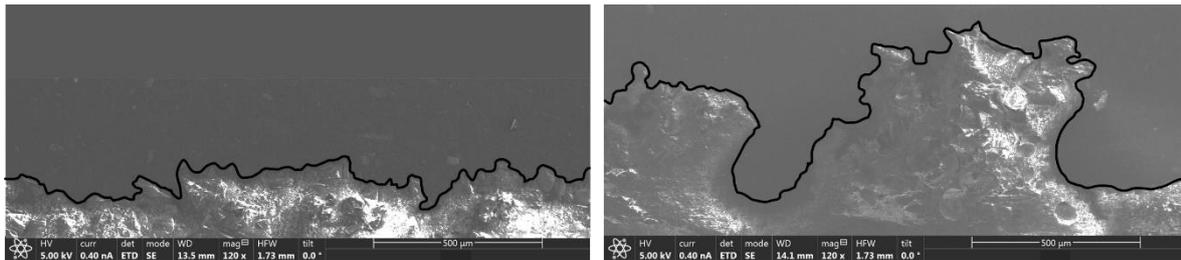
Um möglichst gleiche Ausgangsbedingungen bzgl. der Passivschichtausbildung für die Vergleichsuntersuchungen zu schaffen, wurden die nichtrostenden Stahlproben vor den jeweiligen Korrosionsprüfungen in folgenden Klimaten vorkonditioniert:

- 2 h im Klimaschrank bei 80 % r. F., 20 °C  
(Parametervariation und Herstellervergleich, KBF4-Untersuchung)
- 2 h in Kondenswasserklimatekammer bei 100 % r. F., 30 °C  
(Salzsprühnebelprüfung)
- 48 h in Kondenswasserklimatekammer bei 100 % r. F., 40 °C  
(Parametervariation, Benetzungsverhalten)
- 2 h im Exsikkator bei 86 % r. F., 20 °C / 85 % r. F., 23 °C  
(Wiederholungsschliffe, Defektanalyse, Vliesbehandlung, Relevanzprüfung am 1.4404)  
(relative Luftfeuchte über einer gesättigten Kaliumchloridlösung).

Vor der Probenkonditionierung wurden die Proben mit Aceton gereinigt, mit VE-Wasser sowie Ethanol abgespült und anschließend unter einem warmen Luftstrom getrocknet.

### 2.3 Verwendete Schleifmittel

Die Schleifversuche wurden mit neuen, nicht abgenutzten, Schleifbändern der Hersteller 3M, Hermes, Starcke und VSM durchgeführt. Es wurden Schleifbänder mit der Kornart Korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (Normal- und Halbedelkorund) und Siliziumkarbid ( $\text{SiC}$ ) in der Korngröße P120, P180 und P240 in den Schleifbandtypen „einlagig gestreutes Korn“ und „Granulat“ zur Verfügung gestellt. Die typische Topographie der beiden Schleifbandtypen „einlagig gestreutes Korn“ und „Granulat“ sind exemplarisch in der Abb. 2 dargestellt.



**Abb. 2:** Querschnitt eines Schleifbands mit einlagig gestreutem Korn (links) und Granulat (rechts)

Auf eine genaue Auflistung der gelieferten Schleifbänder und die Angabe der Bandbezeichnungen wird an dieser Stelle verzichtet, um eine Zuordnung mithilfe der Ergebnisdarstellungen zu vermeiden. In den späteren Ergebnisdarstellungen ist ebenfalls aus Wettbewerbsgründen eine Anonymisierung durchgeführt worden.

An ausgewählten Proben wurde eine Nachbehandlung durchgeführt. Nachbehandlungen können mechanisch oder chemisch erfolgen. In dem Projekt wurde eine mechanische Nachbehandlung mit einem Schleifvlies gewählt. Das verwendete Schleifvlies bestand aus einem Nylon-Gewebe mit Korundkorn der Korngröße P240.

## 2.4 Schleifparameter

Bei der Fa. VSM (Vereinigte Schmirgel- u. Maschinen-Fabriken) wurden die elektropolierten Proben mit der Flachsleifmaschine FS384/300 der Firma Loeser (Abb. 3, links) industriell geschliffen. Nach einem Nassschliff wurden die Proben in klarem Wasser gespült, um den Kühlschmierstoff zu entfernen und sofort im Anschluss mittels ölfreier Druckluft getrocknet.

An der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) wurden Trockenschliffe an elektropolierten Proben erzeugt und an Wiederholungsschliffen eine Nachbehandlung mit einem Schleifvlies durchgeführt. Beide Oberflächenbearbeitungen erfolgten mit der Handschleifmaschine UPK 4R der Fa. Suhner (Abb. 3, rechts).



**Abb. 3:** Flachsleifmaschine bei VSM (links) und Handschleifmaschine mit Schleifvlies (rechts)

Die bei der Flachsleif- und Handschleifmaschine verwendeten Schleifparameter sind in Tab. 2 aufgeführt.

**Tab. 2:** Schleifparameter der Flach- und Handschleifmaschine

Parameter	Industrie Flachsleifmaschine	Handschleifmaschine
Schnittgeschwindigkeit $v_c$	24 m/s	14,7 m/s
Schleifrichtung	gegenläufig	wechselnd
Vorschubgeschwindigkeit $v_f$	6 m/min	-
Stützscheibe	70° Schor A, 6A	Keilzink Schaumstoff
Kühlschmierstoff	Helcool S 100-L Rotex KS V 1352-1, MKU	ohne

## 2.5 Parametermatrix und Probenbezeichnung

In Zusammenarbeit mit dem PA wurden Schleifparameter definiert, die nach den Erfahrungen des PAs einen Einfluss auf das Korrosionsverhalten haben könnten. Ein Hauptzustand mit industriell typischen Schleifparametern wurde gewählt. Alle weiteren festgelegten Schleifparametervariationen unterschieden sich jeweils in nur einem Schleifparameter zum Hauptzustand. So konnte ein verändertes Korrosionsverhalten auf den jeweils variierten Schleifparameter zurückgeführt werden. Eine Übersicht der gewählten Schleifparameter gibt die Tab. 3.

Tab. 3: Übersicht der Schleifparameter der Schleifversuche am 1.4301

<b>Schleifbandtyp</b>		einlagig gestreutes Korn / Granulat
<b>Hauptzustand</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- P240 Korund</li> <li>- <b>industriell typische Anpresskraft</b> (einlagig gestreutes Korn: 50 N, Granulat: 75 N)</li> <li>- <b>Nassschliff mit Kühlschmiermittel</b></li> </ul>
<b>Variationen</b>	<b>Parameter-variation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P120, P180</li> <li>• erhöhte Anpresskraft (einlagig gestreutes Korn: 90 N, Granulat: 155 N)</li> <li>• Trockenschliff</li> <li>• ohne Schleifhilfsstoff (nur einlagig gestreutes Korn verwendet)</li> <li>▲ Siliziumkarbid</li> </ul>
	<b>Herstellervergleich</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schleifmittelhersteller (I-IV)</li> <li>▲ Siliziumkarbid vom Hersteller I und IV</li> </ul>
	<b>Relevanzprüfung für andere Stahlgüten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stahl 1.4404</li> </ul>

Die später verwendete Probenbezeichnung gibt entweder direkt den variierten Parameter an oder setzt sich aus zwei bis drei Teilen zusammen. An der ersten Stelle wird mit einer römischen Zahl der Schleifmittelhersteller aufgeführt. An zweiter Position wird der Hauptzustand genannt und an dritter Stelle die zum Hauptzustand geänderte Parametervariation. Die Bezeichnung A steht zudem für den Schleifbandtyp „einlagig gestreutes Korn“ und B für den Schleifbandtyp „Granulat“. Als Beispiel wird im Folgenden ein Prüfblech bezeichnet, welches mit einem Band des Schleifmittelherstellers IV im Hauptzustand A, mit einem Siliziumkarbid (SiC) Schleifmittel geschliffen wurde, bezeichnet:

IV-A-SiC

Eine detaillierte Auflistung der Schleifparameterkombinationen, die für den 1.4301 verwendet wurden, ist mit den jeweiligen Kurzbezeichnungen in Tab. 4 abgebildet.

**Tab. 4:** Detaillierte Darstellung der Schleifparameter der Schleifversuche am 1.4301

Probe	Kurzbezeichnung	Hersteller	Schleifbandtyp	Kornart	Korngröße	Schleifprozess
Hauptzustand / I	I-A/B	I	einlagig gestreutes Korn/ Granulat	Korund	P240	Nassschliff
erhöhte Anpresskraft	I-A/B-H	I	einlagig gestreutes Korn/ Granulat	Korund	P240	Nassschliff
Trockenschliff	I-A/B-T	I	einlagig gestreutes Korn/ Granulat	Korund	P240	Trockenschliff
P180	I-A/B-180	I	einlagig gestreutes Korn/ Granulat	Korund	P180	Nassschliff
P120	I-A/B-120	I	einlagig gestreutes Korn/ Granulat	Korund	P120	Nassschliff
ohne Schleifhilfsstoff	I-A-K2	I	einlagig gestreutes Korn	Korund	P240	Nassschliff
II-IV	II-A/B III-A/B IV-A/B	II-IV	einlagig gestreutes Korn/ Granulat	Korund	P240	Nassschliff
SiC / I-SiC	I-A/B-SiC	I	einlagig gestreutes Korn/ Granulat	SiC	P240	Nassschliff
IV-SiC	IV-A/B-SiC	IV	einlagig gestreutes Korn/ Granulat	SiC	P240	Nassschliff

Von ausgewählten Schleifparametern des Herstellervergleichs wurden bei der Fa. VSM nochmalige Schliffe angefertigt, die im Folgenden als Wiederholungsschliffe (w) bezeichnet werden. Diese wurden zum einen für Auslagerungsversuche verwendet. Zum anderen wurde an den Wiederholungsschliffen eine Nachbehandlung mit einem Schleifvlies durchgeführt, um die Auswirkung dieser Nachbearbeitung auf die Korrosionsbeständigkeit zu untersuchen. Des Weiteren erfolgte anhand der Wiederholungsschliffe eine Bewertung hinsichtlich der Reproduzierbarkeit der Schleifvorgänge. Die Schleifparameter der Wiederholungsschliffe sind in der folgenden Tab. 5 aufgeführt.

**Tab. 5:** Schleifparameter von Proben für die Vliesbehandlung am 1.4301

Probe	Kurzbezeichnung	Hersteller	Schleifbandtyp	Kornart	Korngröße	Schleifprozess
Hauptzustand	I-A/B-w	I	einlagig gestreutes Korn/ Granulat	Korund	P240	Nassschliff
II	II-A/B-w	II	einlagig gestreutes Korn/ Granulat	Korund	P240	Nassschliff
IV	IV-B-w	IV	Granulat	Korund	P240	Nassschliff
IV-SiC	IV-B-SiC-w	IV	Granulat	SiC	P240	Nassschliff

Im Projektantrag wurde auch die Verwendung von Bändern mit einem unterschiedlichen Abnutzungsgrad in Erwägung gezogen. In Abstimmung mit dem PA wurde dieser Parameter jedoch nicht überprüft, da die Erzeugung definierter und vergleichbarer Abnutzungs Zustände der unterschiedlichen Schleifbandtypen nicht realisierbar ist. Stattdessen wurden weitere Untersuchungen hinsichtlich des Schleifhilfsstoffs durchgeführt. Bei Schleifbändern werden entweder Kryolith oder Kryolith in Kombination mit KBF4 (Kaliumtetrafluoroborat) als Schleifhilfsstoff verwendet. Aus Wettbewerbsgründen und um die Anonymität der Hersteller zu wahren, werden in Tab. 4 keine Angaben hinsichtlich der verwendeten Schleifhilfsstofftypen gemacht. Um den Einfluss des Schleifhilfsstoffs KBF4 auf das Korrosionsverhalten zu untersuchen, wurden Schriffe mit zwei Schleifbändern erzeugt, wobei nur eins der zwei sonst identischen Schleifbänder KBF4 enthielt. Alle verwendeten Schleifparameter sind in Tab. 6 angegeben.

**Tab. 6:** Schleifparameter für die Untersuchung des Einflusses von KBF4 am 1.4301

Probe	Kurzbezeichnung	Hersteller	Schleifbandtyp	Kornart	Korngröße	Schleifprozess
ohne KBF4	II-A-180- o. KBF4	II	einlagig gestreutes Korn	Korund	P180	Nassschliff
mit KBF4	II-A-180- m. KBF4	II	einlagig gestreutes Korn	Korund	P180	Nassschliff

Für die Untersuchung des Benetzungsverhaltens wurden neben den Proben der Parametervariation zusätzlich Trockenschliffe verwendet. Die Trockenschliffe wurden mit einem Korund-Granulatschleifband der Körnung P240 erzeugt.

Für die Relevanzprüfung an dem nichtrostenden Stahl 1.4404 wurden elektropolierte Bleche mit den in Tab. 7 angegebenen Schleifparametern geschliffen. An allen geschliffenen Blechen wurde auch eine Vliesbehandlung durchgeführt.

**Tab. 7:** Schleifparameter der Schleifversuche am 1.4404

Probe	Kurzbezeichnung	Hersteller	Schleifbandtyp	Kornart	Korngröße	Schleifprozess
Hauptzustand	I-A/B-m	I	einlagig gestreutes Korn/ Granulat	Korund	P240	Nassschliff
IV	IV-B-m	IV	Granulat	Korund	P240	Nassschliff
IV-SiC	IV-B-SiC-m	IV	Granulat	SiC	P240	Nassschliff

Alle gelieferten geschliffenen Proben des 1.4301 und des 1.4404 wurden in einem Trockenschrank mit weniger als 30 % r. F. aufbewahrt.

### **3 Durchgeführte Untersuchungen**

#### **3.1 Mikroskopische Charakterisierung des Gefüges und der Oberflächen**

Für die metallographische Untersuchung des Referenzwerkstoffs 1.4301 und des Relevanzwerkstoffs 1.4404 wurden Flach-, Quer- und Längsschliffe angefertigt. Eine Ätzung erfolgte mit Königswasser, um das austenitische Gefüge sichtbar zu machen. Die metallografischen Aufnahmen erfolgten mithilfe des optischen Mikroskops Zeiss Axioplan2.

Zur Untersuchung der vorliegenden Oberflächentopografie wurden Untersuchungen mit einem Echtfarben Konfokalmikroskop des Typs Axio CSM 700 der Firma Carl Zeiss an allen Proben durchgeführt. Hierbei handelt es sich um ein lichtmikroskopisches System mit konfokalem Strahlengang. Durch das Abrastern der Probe in x-, y- und z- Richtung kann in 3 Dimensionen mit hoher Präzision abgebildet werden. Aus den erzeugten Bildstapeln lassen sich Echtfarbenbilder, 3D-Oberflächen, Topografien und Intensitäts- oder Profildaten errechnen. Hierbei wurden die Kennwerte Ra (arithmetischer Mittenrauwert), Rz (gemittelte Rauheitshöhe) und RSm (mittlere Rillenbreite) ermittelt. An allen Proben wurden jeweils drei Einzelmessungen über eine Messstrecke von 1,1 mm durchgeführt.

Des Weiteren wurden die geschliffenen Oberflächen und eine Auswahl an Schleifbändern mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) am Institut für Werkstoff- und Fügetechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg in einem Dual Beam FEI Scios (Schleifbänder) und einem FEI XL30 ESEM (geschliffene Oberflächen) untersucht. Die REM-Analysen erfolgten im SE-Mode (Topografiekontrast) und CEN-Mode (Elementkontrast). Lokale Elementanalysen von auffälligen Defekten wurden mittels EDX durchgeführt.

### 3.2 Benetzungsverhalten

Die Benetzbarkeit der Proben mit vollentsalztem Wasser wurde mithilfe des Kontaktwinkels zwischen Wassertropfen und Probenoberfläche bestimmt. Für die Untersuchung wurde der Mobile Surface Analyzer (MSA) der Fa. Krüss verwendet. Das MSA-Gerät appliziert einen Wassertropfen auf der Probenoberfläche. Eine integrierte Kamera erfasst den Wassertropfen und mittels der Software Advance Drop Shape 1.6.2 wird der Kontaktwinkel zwischen Probenoberfläche und Tropfenkontur ermittelt. Die Ermittlung des Kontaktwinkels wird in Abb. 4 (links) nochmals veranschaulicht. Die Benetzbarkeit eines Festkörpers wird in die drei Gruppen vollständige Benetzung (Kontaktwinkel  $0^\circ$ ), benetzbar (Kontaktwinkel  $0^\circ - 90^\circ$ ) und schlecht/nicht benetzbar (Kontaktwinkel über  $90^\circ$ ) eingeteilt [3].

Bei den geschliffenen Oberflächen wurden je Probe zwei Kontaktwinkel entsprechend der Orientierung gemessen, einmal in und senkrecht zur Schleifrichtung. Die Abb. 4 zeigt, dass ein Tropfen auf einer geschliffenen Oberfläche aufgrund der Schleifriefen eine ovale Form bildet (rechts) im Gegensatz zu einem Tropfen auf einer elektroplierten Oberfläche, der eine runde Form annimmt (Mitte).



**Abb. 4:** Wassertropfen mit ausgerechneten Kontaktwinkeln (links) sowie Wassertropfen auf einer elektroplierten Oberfläche (Mitte) und geschliffenen Oberfläche (rechts) zur Veranschaulichung des Tropfenverhaltens und der durchgeführten MSA-Messung in und senkrecht zur Schleifrichtung

Das Benetzungsverhalten wurde zum einen an Proben der Parametervariation untersucht (Probenkonditionierung: 48 h, 100 % r. F.,  $40^\circ\text{C}$ ) und zum anderen an Trockenschliffen nach 0 h, 2 h, 24 h und 48 h im Kondenswasserklima. Je Probenvariante wurden drei Vergleichsmessungen durchgeführt.

### 3.3 Elektrochemische Untersuchungen

Die Korrosionsbeständigkeit des elektropolierten Referenzwerkstoffs sowie aller geschliffenen Proben wurde mittels elektrochemischer Methoden untersucht. Alle Messungen wurden mit einer Aufsatzmesszelle und einem klassischen Dreielektrodenaufbau, bestehend aus Bezugs-, Gegen- und Arbeitselektrode, durchgeführt. Als Bezugs- (BE) diente eine gesättigte Silber/Silberchlorid-Elektrode (Ag/AgCl) mit einem Potential von +199 mV gegen die Standardwasserstoffelektrode (SHE). Ein Platinblech wurde als Gegenelektrode (GE) verwendet und die Proben wurden als Arbeitselektrode (AE) geschaltet. Die Versuchsanordnung ist in Abb. 5 dargestellt.

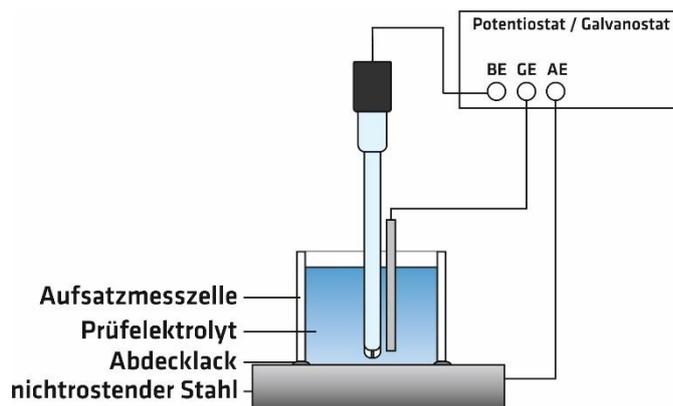
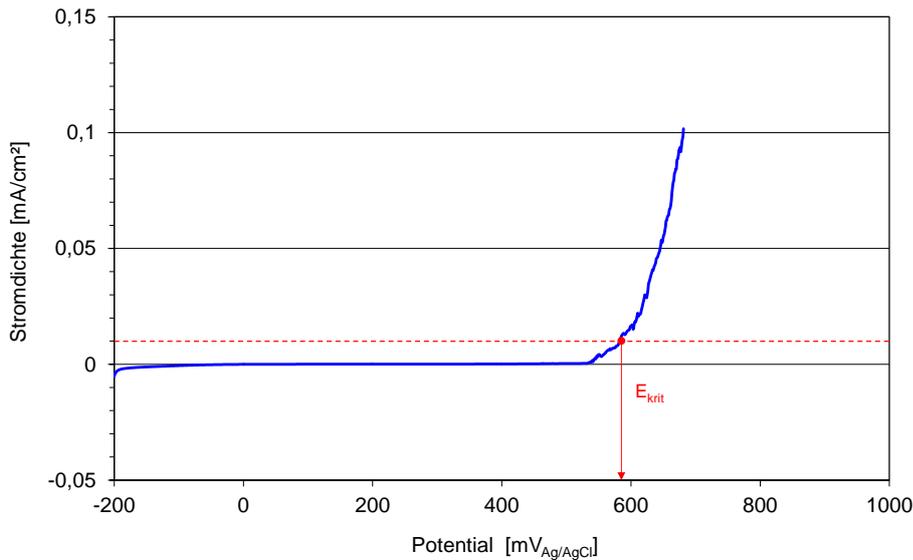


Abb. 5: Versuchsanordnung für die elektrochemischen Untersuchungen

#### 3.3.1 Bestimmung kritischer Potentialwerte

Für die elektrochemische Charakterisierung der Proben wurde als Kennwert das kritische Korrosionspotential  $E_{krit}$  in potentiodynamischen Polarisationsmessungen ermittelt. Der dafür verwendete Elektrolyt bestand aus 3000 mg Cl<sup>-</sup>/l (aus Natriumchlorid) und hatte einen pH-Wert von 4,5 (bei RT 23 °C). Für die potentiodynamischen Untersuchungen kamen ein Potentiostat/Galvanostat/ZRA Reference 600 von Gamry Instruments und Aufsatzmesszellen mit einer Prüffläche von 3 cm<sup>2</sup> zum Einsatz. Jede Probenvariante wurde mindestens dreimal bei Raumtemperatur gemessen. Zu Beginn der Messung wurde zunächst für zehn Minuten das Korrosionspotential gemessen und anschließend ausgehend von -200 mV mit einer Polarisationsgeschwindigkeit von 0,2 mV/s in anodische Richtung polarisiert. Als Auswertekriterium für die Ermittlung der kritischen Korrosionspotentiale  $E_{krit}$  wurde die dauerhafte Überschreitung eines Stromdichtewerts von 0,01 mA/cm<sup>2</sup> herangezogen. Beispielhaft ist dies in Abb. 6 dargestellt.

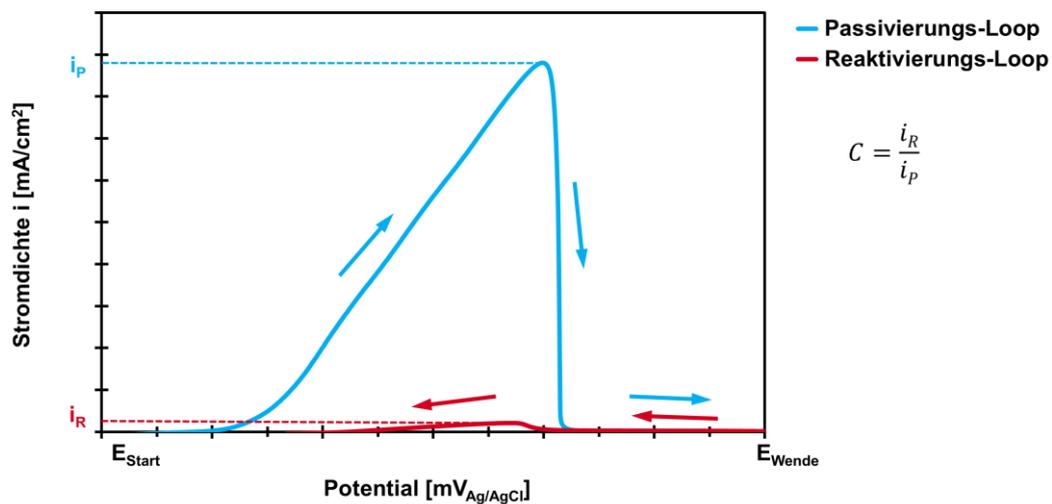


**Abb. 6:** Beispiel zur Ermittlung des kritischen Korrosionspotentials bei einem Stromwert von  $0,01 \text{ mA/cm}^2$  an einer Stromdichte-Potentialkurve

### 3.3.2 Elektrochemisch potentiodynamische Reaktivierung

#### 3.3.2.1 Elektrochemisch potentiodynamische Reaktivierung mit Double-Loop (EPR-DL)

Schleifprozesse können den Randbereich eines Werkstoffs durch eingebrachte Wärme und Energie verändern und eine Sensibilisierung hervorrufen. Zu stark sensibilisierte Werkstoffbereiche sind nicht in der Lage eine stabile Passivschicht zu bilden. Um Aussagen über den Sensibilisierungszustand der geschliffenen Proben treffen zu können, wurden EPR-Tests (elektrochemisch potentiodynamische Reaktivierung) im Double-Loop-Verfahren (DL) durchgeführt. Das EPR-DL-Verfahren wird beispielhaft in der folgenden Abb. 7 verdeutlicht.



**Abb. 7:** Verfahrensschema des EPR-DL-Tests und Berechnungsformel des Sensibilisierungsgrads nach ASTM G108-94 [4]

Ausgehend von einem Startpotential ( $E_{\text{Start}}$ ) wird mit einer konstanten Polarisationsgeschwindigkeit in anodische Richtung polarisiert. Die geprüfte Metalloberfläche liegt dabei zunächst in einem aktiveren Zustand vor und es kommt zu einer flächigen Metallauflösung, was der Anstieg der Stromdichte in Abb. 7 beispielhaft verdeutlicht. Nach der Bildung einer Passivschicht fällt die Stromdichte auf sehr geringe Werte ab. Die dynamische Polarisation wird im passiven Potentialbereich bis zum Wendepotential ( $E_{\text{Wende}}$ ) fortgeführt. Am Wendepotential kommt es zur Umkehrung der Polarisationsrichtung und der Polarisationsbereich bis zum Startpotential ( $E_{\text{Start}}$ ) wird mit gleicher Polarisationsgeschwindigkeit zurückgefahren. Bei der Polarisation in kathodische Richtung kommt es bei sensibilisierten Werkstoffen, bei denen keine stabile Passivschicht vorliegt, zu einem nochmaligen Anstieg der Stromdichte, der sogenannten Reaktivierung.

Die EPR-DL-Tests wurden mit einem Startpotential von  $-500 \text{ mV}_{\text{Ag/AgCl}}$ , einem Wendepotential von  $+300 \text{ mV}_{\text{Ag/AgCl}}$  und einer konstanten Polarisationsgeschwindigkeit von  $1,67 \text{ mV/s}$  durchgeführt. Die dynamische Polarisation erfolgte mit einem Potentiostat/Galvanostat/ZRA Reference 600 von Gamry Instruments. Alle Messungen wurden mit einem Prüfelektrolyt aus  $0,5 \text{ M}$  Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) und  $0,01 \text{ M}$  Kaliumthiocyanat ( $\text{KSCN}$ ) durchgeführt, der sich in einer Aufsatzmesszelle mit einer Prüffläche von  $3 \text{ cm}^2$  befand. Da es sich zunächst um Vorversuche handelte, wurden die Proben einmalig untersucht. Die maximale Passivierungsstromdichte (Passivierungspike) und maximale Reaktivierungsstromdichte (Reaktivierungspike) wurden anschließend für jede Probenvariante ermittelt und der Sensibilisierungsquotient  $C$  aus Reaktivierungs- und Passivierungspike (Abb. 7) bestimmt. Die Bewertung des Sensibilisierungszustands erfolgte nach ASTM G108-94 [4], deren Grenzwerte in Tab. 8 angegeben sind.

**Tab. 8:** Sensibilisierungsgrade von austenitischen nichtrostenden Stählen nach ASTM G108-94 [4]

Grad der Sensibilisierung	C
keine Sensibilisierung	< 0,01
leichte Sensibilisierung	0,01 – 0,05
starke Sensibilisierung	> 0,05

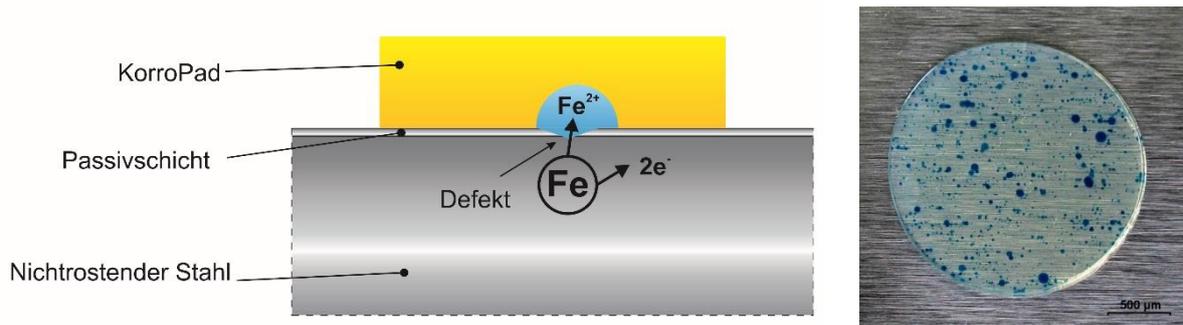
### 3.3.2.2 Elektrochemisch potentiodynamische Reaktivierung mit Single-Loop (EPR-SL)

Ein modifizierter elektrochemischer potentiodynamischer Reaktivierungstest mit einem Single-Loop (EPR-SL) wurde verwendet, um die Passivschichtstabilität der geschliffenen Oberflächen zu untersuchen. Bei dem EPR-SL-Test begann die dynamische Polarisation im passiven Polarisationsbereich bei  $+100 \text{ mV}_{\text{Ag/AgCl}}$ . Die flächige Auflösung der Oberfläche, die während der Passivierung beim EPR-DL auftritt, wurde dadurch vermieden und relevante Oberflächenbereiche, die durch das Schleifen erzeugt wurden und die Passivschichtausbildung beeinflussen könnten, blieben erhalten. Die Proben wurden mit einer konstanten Polarisationsgeschwindigkeit von  $2 \text{ mV/s}$  zunächst von  $+100 \text{ mV}_{\text{Ag/AgCl}}$  bis  $+300 \text{ mV}_{\text{Ag/AgCl}}$  polarisiert und anschließend zurück in kathodische Richtung von  $+300 \text{ mV}_{\text{Ag/AgCl}}$  bis  $-500 \text{ mV}_{\text{Ag/AgCl}}$ . Die EPR-SL-Tests erfolgten am Institut für Werkstoff- und Fügetechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg mit einem Gamry Potentiostat PCI4-300 und Aufsatzmesszellen mit

einer Prüffläche von  $1,54 \text{ cm}^2$ . Der verwendete Prüfelektrolyt bestand aus  $0,5 \text{ M}$  Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) und  $0,01 \text{ M}$  Kaliumthiocyanat ( $\text{KSCN}$ ). Die Untersuchungen erfolgten je Probenvariante mindestens dreimal bei Raumtemperatur. Im Anschluss wurden von allen Messungen die maximalen Reaktivierungsstromdichten (Reaktivierungspeaks) ermittelt.

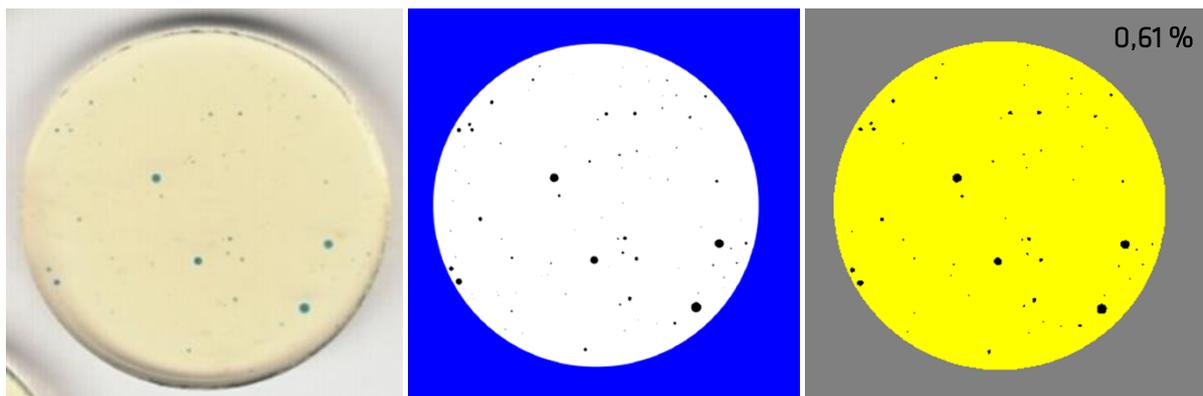
### 3.4 KorroPad Prüfung

Die Stabilität der Passivschicht wurde mithilfe von KorroPads untersucht. KorroPads [5] sind runde Gel-Pads mit einem Durchmesser von 20 mm und einer Testfläche von 3,14 cm<sup>2</sup>, die 0,1 M Natriumchlorid und 1 mM des Indikators Kaliumhexacyanoferrat III (KHCF) enthalten. Der Indikator KHCF färbt sich bei Kontakt mit Eisenionen blau („Berliner Blau“). Imperfektionen der Passivschicht können somit durch die lokal in Lösung gehenden Eisenionen und dem daraus resultierenden Farbumschlag im KorroPad detektiert werden. Die Prinzipskizze in Abb. 8 verdeutlicht die Wirkungsweise des KorroPads.



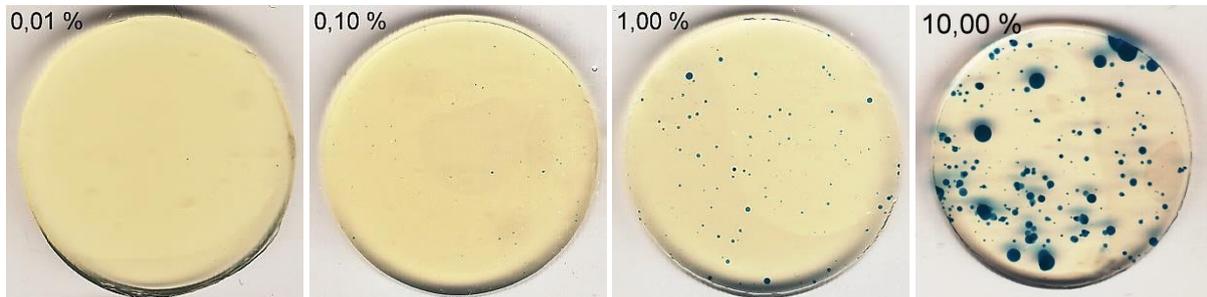
**Abb. 8:** Prinzipskizze der KorroPad Prüfung (l.), praktische Anzeigen auf einer korrosionsanfälligen Oberfläche (r.)

Alle Proben wurden mit jeweils 3 KorroPads geprüft, die 15 Minuten lang auf der Oberfläche verblieben. Nach Ablauf der Prüfzeit wurden die KorroPads mit einem Kunststoffspatel abgelöst und hochauflösend eingescannt. Die Auswertung der KorroPads erfolgte mithilfe der Bildanalysesoftware GSA Image Analyser hinsichtlich des prozentualen Oberflächenanteils und der Größe der blauen Korrosionsanzeigen. Dafür wurden die KorroPad-Aufnahmen binarisiert. Ein Beispiel zeigt Abb. 9.



**Abb. 9:** KorroPad nach KorroPad-Prüfung hochaufgelöst eingescannt (links); binarisierte Darstellung (Mitte); Falschfarbendarstellung bei Auswertung mittels Bildanalysesoftware (schwarz: Korrosionsanzeigen; gelb: Bereich ohne Anzeigen; grau: Hintergrund ohne Bewertung); prozentualer Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen ca. 0,61 %

Zur Verdeutlichung der späteren Darstellungen der prozentualen Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen sind in der Abb. 10 typische Anzeigen für verschiedene Wertebereiche abgebildet.



**Abb. 10:** Beispielhafte Übersicht unterschiedlicher Wertebereiche der prozentualen Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen im KorroPad

Der prozentuale Oberflächenanteil und die Größe der Korrosionsanzeigen ermöglichen Rückschlüsse auf die Stabilität der Passivschicht und die Anfälligkeit für lokale Korrosion. Die Korrosionsanfälligkeit steigt mit zunehmender Anzahl und Größe der KorroPad-Korrosionsanzeigen. Eine stabile Passivschicht besteht bei prozentualen Oberflächenanteilen der Korrosionsanzeigen bis zu 0,1 %. Kleine Korrosionsanzeigen, die zu prozentualen Oberflächenanteilen der Korrosionsanzeigen zwischen 0,1 % und 1 % führen, deuten darauf hin, dass eine Verfleckung der Oberfläche auch unter unkritischen Anwendungsbedingungen möglich ist. Verfleckungen sind optische Mängel. Die Entwicklung eines strukturellen Korrosionsschadens ist unter atmosphärischen Einsatzbedingungen unwahrscheinlich. Bei großen Korrosionsanzeigen und prozentualen Oberflächenanteilen der Korrosionsanzeigen zwischen 1 % und 10 % oder mehr sind ausgeprägte Verfleckungen bis hin zu vollflächigen Verfärbungen wahrscheinlich. Strukturschädigungen infolge lokaler Korrosion können je nach den zugrundeliegenden Ursachen der Anzeigen nicht ausgeschlossen werden.

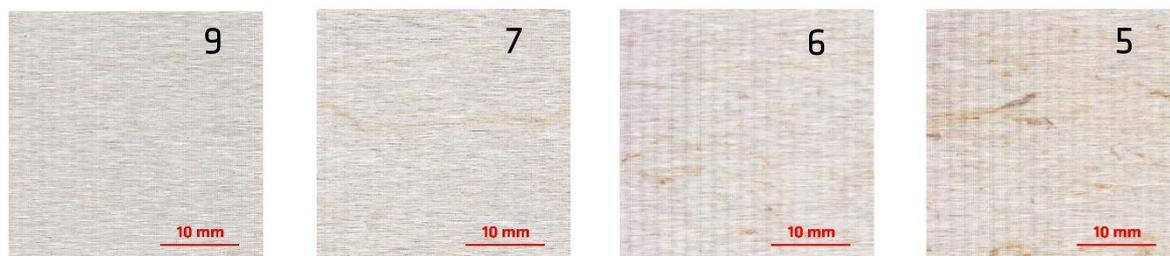
### 3.5 Auslagerungsversuche

#### 3.5.1 Salzsprühnebelprüfung

Für die Salzsprühnebelprüfung wurden der elektropolierte Ausgangszustand als Referenzoberfläche sowie verschiedene geschliffene Oberflächen unterschiedlicher Schleifmittelhersteller und unterschiedlicher Schleifbandtypen (Granulat, einlagig gestreutes Korn, Korund, SiC) ausgewählt. Teilbereiche der geschliffenen Oberflächen sind mittels Schleifvlies überschleift worden um den Einfluss dieser Nachbearbeitungsmethode auf die Korrosionsbeständigkeit zu überprüfen.

Die Proben wurden in einer Salzsprühkammer des Typs Liebisch SKBW 1000 A-SC einer konventionellen Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227 [6] über einen Zeitraum von 96 Stunden unterzogen. Als Vorkonditionierung sind alle Proben vor der Salzsprühnebelprüfung für 2 Stunden bei 30 °C / 100 % r. F. gelagert worden, um eine vergleichbare Passivschichtausbildung auf den Proben zu ermöglichen.

Der Oberflächenzustand nach der Prüfung wurde in Anlehnung an die DIN EN ISO 10289 [7] mittels Punkt- bzw. Fleckkarten in Bewertungsgrade 1-10 eingeteilt, wobei mit steigendem Bewertungsgrad ein besserer Oberflächenzustand dokumentiert wird. Diese Bewertungsgrade beziehen sich auf den prozentualen Anteil von Korrosion und Korrosionsprodukten auf der Oberfläche der Proben. Das dabei zugrundeliegende Bewertungsfenster betrug 35 x 35 mm, wobei jeweils der schlechteste Oberflächenbereich einer Probe bewertet wurde. Rand- und Spalteffekte gingen nicht in die Bewertung ein. Beispiele für typische Bewertungsgrade sind in Abb. 11 dargestellt.



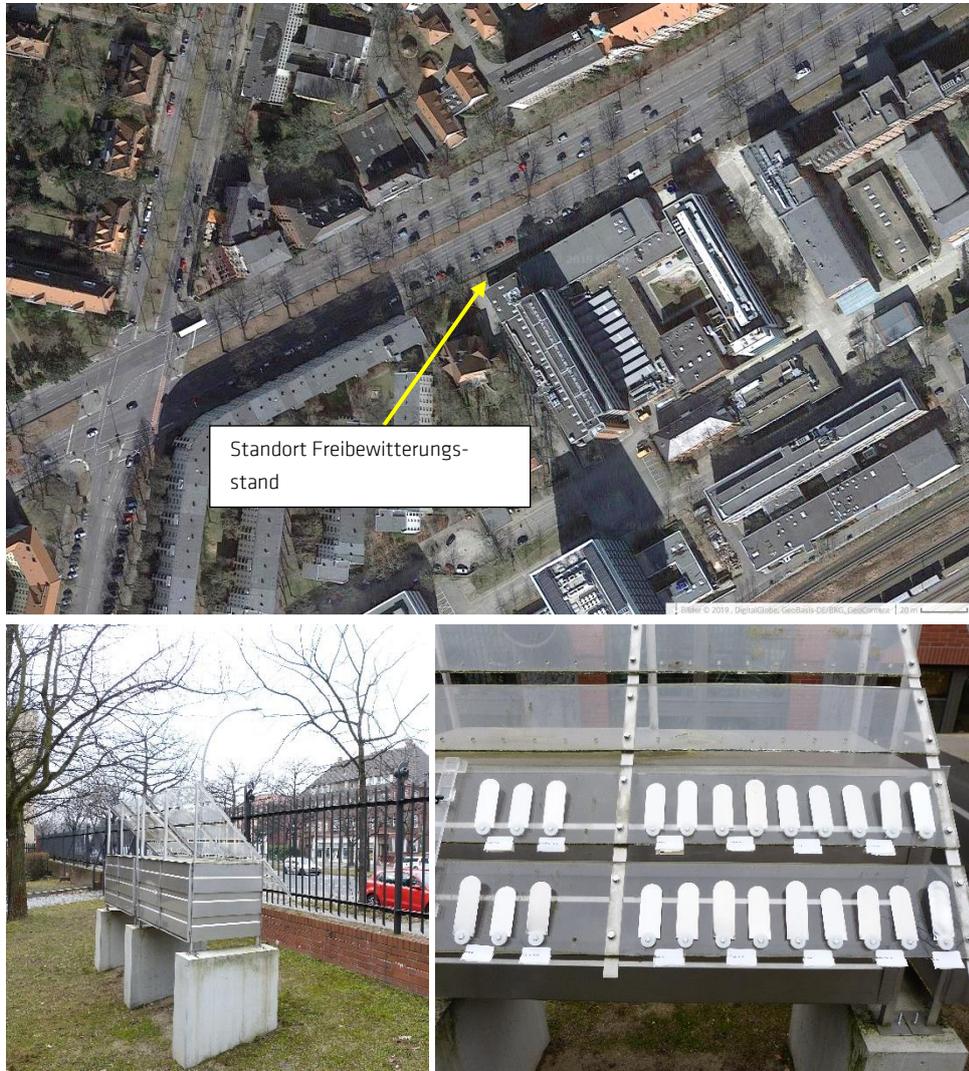
**Abb. 11:** Übersicht beispielhafter Bewertungsgrade nach 96 h Salzsprühnebelprüfung

#### 3.5.2 Freibewitterung in städtischer Atmosphäre

Zur Überprüfung der Praxisrelevanz sind sowohl der elektropolierte Ausgangszustand als Referenzoberfläche sowie verschiedene geschliffene Oberflächen unterschiedlicher Schleifmittelhersteller und unterschiedlicher Schleifbandtypen (Granulat, einlagiges Korn, Korund, SiC) ausgelagert worden. Teilbereiche der geschliffenen Oberflächen wurden mittels Schleifvlies überschleift, um den Einfluss dieser Nachbearbeitungsmethode auf die Korrosionsbeständigkeit zu überprüfen.

Der Auslagerungsstand für die Freibewitterungsversuche gemäß DIN EN ISO 8565 [8] befindet sich in Berlin Lichterfelde innerstädtisch in etwa 8 m Abstand zu einer vielbefahrenen Bundesstraße mit winterlichem Streusalzeinsatz. Die Ausrichtung der Proben ist Nord-West in einem Winkel von 45° zur Waagerechten. In Abb. 12 sind der Standort und die montierten Proben dargestellt.

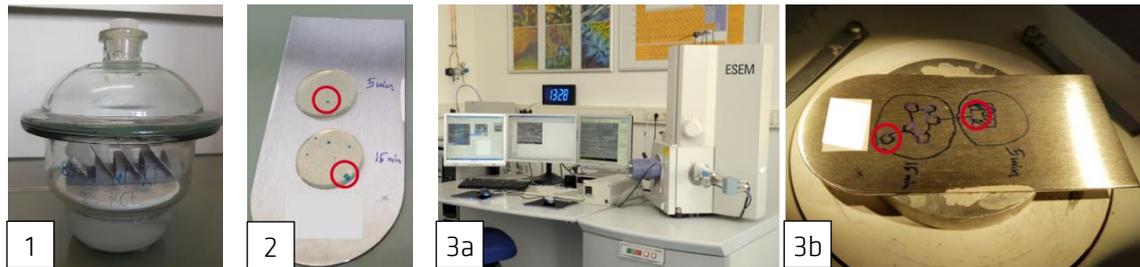
Der Start für die Auslagerungsversuche erfolgte zu einem fortgeschrittenen Zeitpunkt des Forschungsvorhabens, sodass eine standardmäßige, nach 12-monatiger Auslagerungszeit durchgeführte Oberflächenbeurteilung erst im Zuge einer Veröffentlichung nach Abschluss des Vorhabens gezeigt werden kann.



**Abb. 12:** Standort des Freibewitterungsstands (Quelle: google.maps) und montierte Proben auf dem Auslagerungsstand

### 3.6 Defektanalyse

Die Ursache von großen KorroPad-Anzeigen sollte mittels einer KorroPad-REM-Korrelationsuntersuchung ermittelt werden. Große KorroPad-Anzeigen sind kritisch, da an solchen Stellen im späteren Einsatz Verfleckungen wahrscheinlich und Strukturschädigungen infolge lokaler Korrosion möglich sind. Für die Korrelationsuntersuchungen wurden zwei Bleche verwendet, die mit Korund-Granulat (IV-B) und SiC-Granulat (IV-B-SiC) geschliffen worden waren. Den Ablauf der KorroPad-REM-Korrelationsuntersuchung demonstriert die Abb. 13.



**Abb. 13:** Verlauf der KorroPad-REM-Korrelationsuntersuchungen: 1. Probenkonditionierung im Exsikkator, 2. KorroPad-Prüfung, 3. REM-Untersuchung der großen KorroPad-Anzeigen

Die zwei Bleche wurden zunächst 2 h lang in einem Exsikkator mit 85 % r. F. ausgelagert, um die Ausbildung einer Passivschicht zu ermöglichen (Abb. 13.1). Im Anschluss erfolgte die KorroPad-Prüfung (Abb. 13.2). Die Stellen, an denen eine große KorroPad-Anzeige erschien, wurden auf dem Blech markiert und anschließend mittels REM hinsichtlich Oberflächendefekte untersucht (Abb. 13.3).

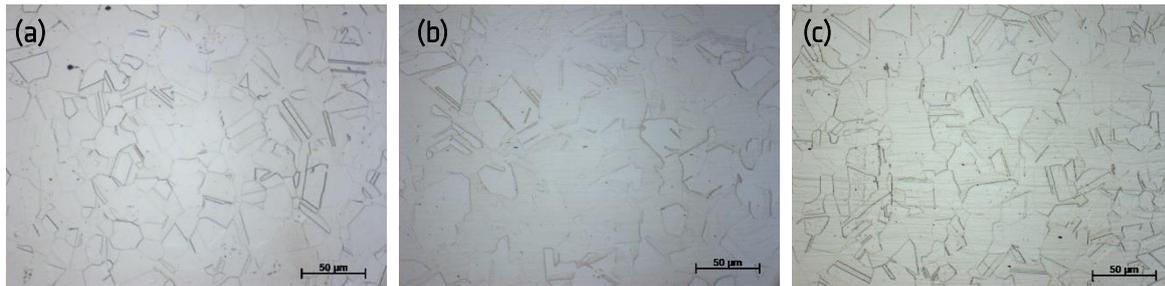
Des Weiteren wurden Schleifbänder nach den Schleifversuchen hinsichtlich Schleifbandtopografie und zurückgebliebener Späne untersucht. Für die Untersuchung der Schleifbandtopografie wurden zum einen Oberflächenaufnahmen mithilfe eines hochauflösenden Scanners erzeugt und zum anderen Querschnittsaufnahmen mit dem inversen Auflichtmikroskop ZEISS Axiovert 200 M. Bei den Querschnittsaufnahmen wurden im Anschluss die Profillinien nachgezeichnet. Die Untersuchung der Schleifbänder hinsichtlich zurückgebliebener Späne erfolgte mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) in einem Dual Beam FEI Scios.

## 4 Ergebnisse der Stahlgüte 1.4301

### 4.1 Ergebnisse der mikroskopischen Charakterisierung des Gefüges und der Oberflächen

#### 4.1.1 Gefüge

An dem Referenzwerkstoff 1.4301 wurden metallografische Aufnahmen an Flach-, Quer- und Längsschliffen angefertigt, um das Gefüge hinsichtlich möglicher Unregelmäßigkeiten zu überprüfen. Die Ergebnisse zeigt die Abb. 14.



**Abb. 14:** Metallografische Aufnahme am Flachschliff (a), Querschliff (b) und Längsschliff (c), Ätzung mit Königswasser, 500-fache Vergrößerung

Der Referenzwerkstoff besaß ein typisches austenitisches Gefüge. Alle metallografischen Aufnahmen zeigten zudem keine Auffälligkeiten im Gefüge, welche die Korrosionsbeständigkeit negativ beeinflussen könnten.

#### 4.1.2 Rauheitskennwerte

Mithilfe eines Konfokalmikroskops wurden die Rauheitskennwerte Ra (arithmetischer Mittenrauwert), Rz (gemittelte Rauheitshöhe) und RSm (mittlere Rillenbreite) ermittelt.

#### Elektropolierter Ausgangszustand

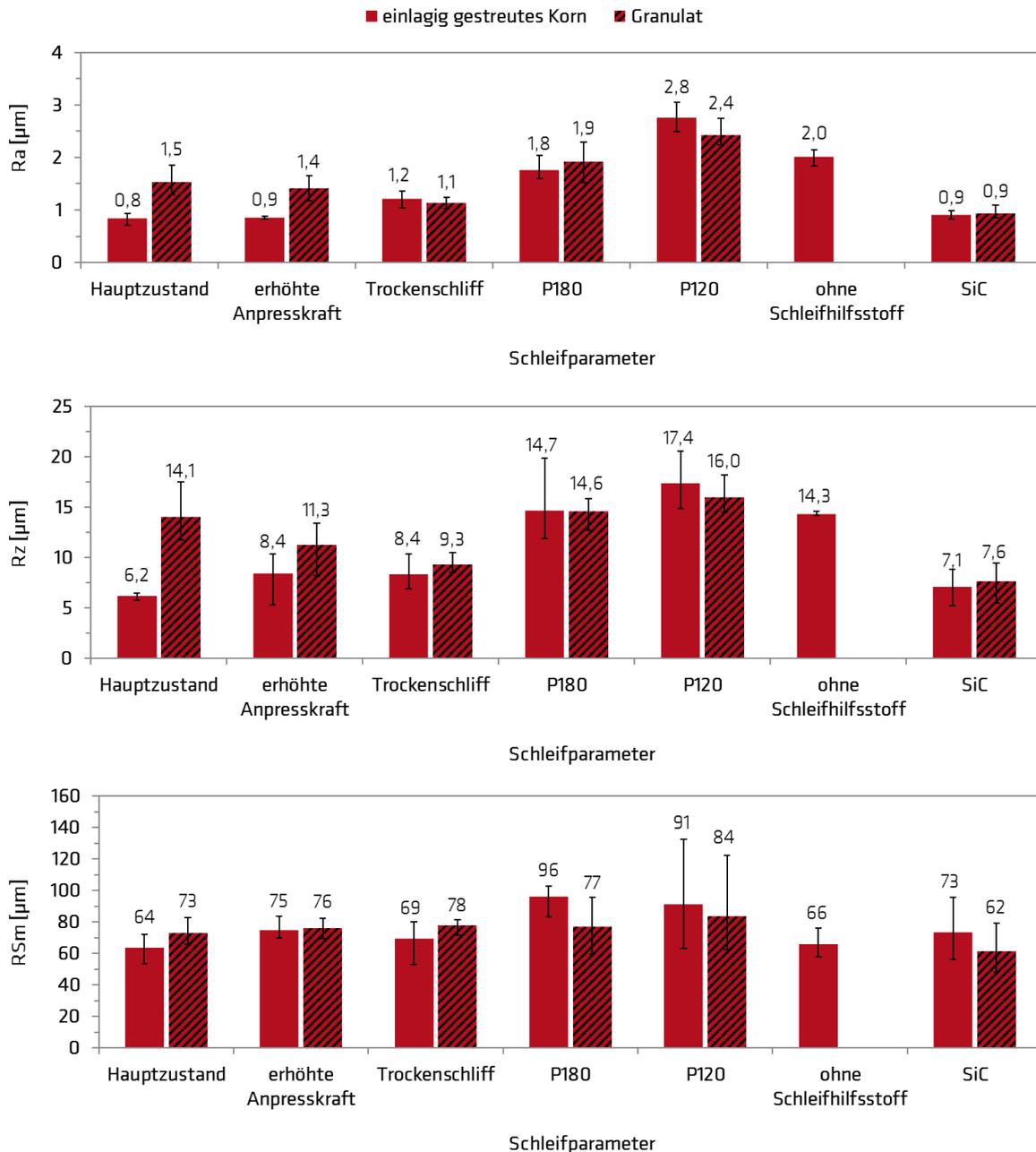
Für den elektropolierten Ausgangszustand sind die Rauheitskennwerte Ra und Rz in Tab. 9 angegeben. Die mittlere Rillenbreite RSm wird aufgrund nicht vorhandener Schleifriefen nicht mit aufgeführt.

**Tab. 9:** Rauheitskennwerte des elektropolierten Ausgangszustands

Rauheitskennwert [µm]	Mittelwert	min. Abweichung	max. Abweichung
Ra	0,2	0,01	0,02
Rz	1,1	0,09	0,09

## Parametervariation

Die Mittelwerte und Streubänder aus jeweils drei Vergleichsmessungen sind in Abhängigkeit der Schleifparameter in Abb. 15 dargestellt.



**Abb. 15:** Rauheitskennwerte Ra, Rz und RSm der Probenoberflächen der Parametervariation

Beim arithmetischen Mittenrauwert Ra war beim einlagig gestreuten Korn eine Zunahme der Rauheit mit zunehmender Korngröße von P240 zu P120 zu verzeichnen. Bei den granulatgeschliffenen Oberflächen war diese Tendenz anhand der Mittelwerte erkennbar. Einige Streubalken überschritten sich jedoch. Ein Verzicht von Kühlschmierstoff und Schleifhilfsstoff erzeugte bei der Verwendung von einlagig gestreutem Korn rauere Oberflächen im Vergleich zum Hauptzustand. Dieser Einfluss war bei Granulat nicht erkennbar. Der Granulat-Trockenschliff wies sogar eine etwas geringere Rauheit auf als

der Hauptzustand. Die Erhöhung des Anpressdrucks führte bei beiden Schleifbandtypen zu keiner Rauheitsveränderung. Die Verwendung der Kornart SiC erzeugte beim einlagig gestreuten Korn vergleichbare Rauheiten zum Hauptzustand. Bei den Granulatschliffen wurden mit SiC geringere Rauheiten erzielt als mit Korund.

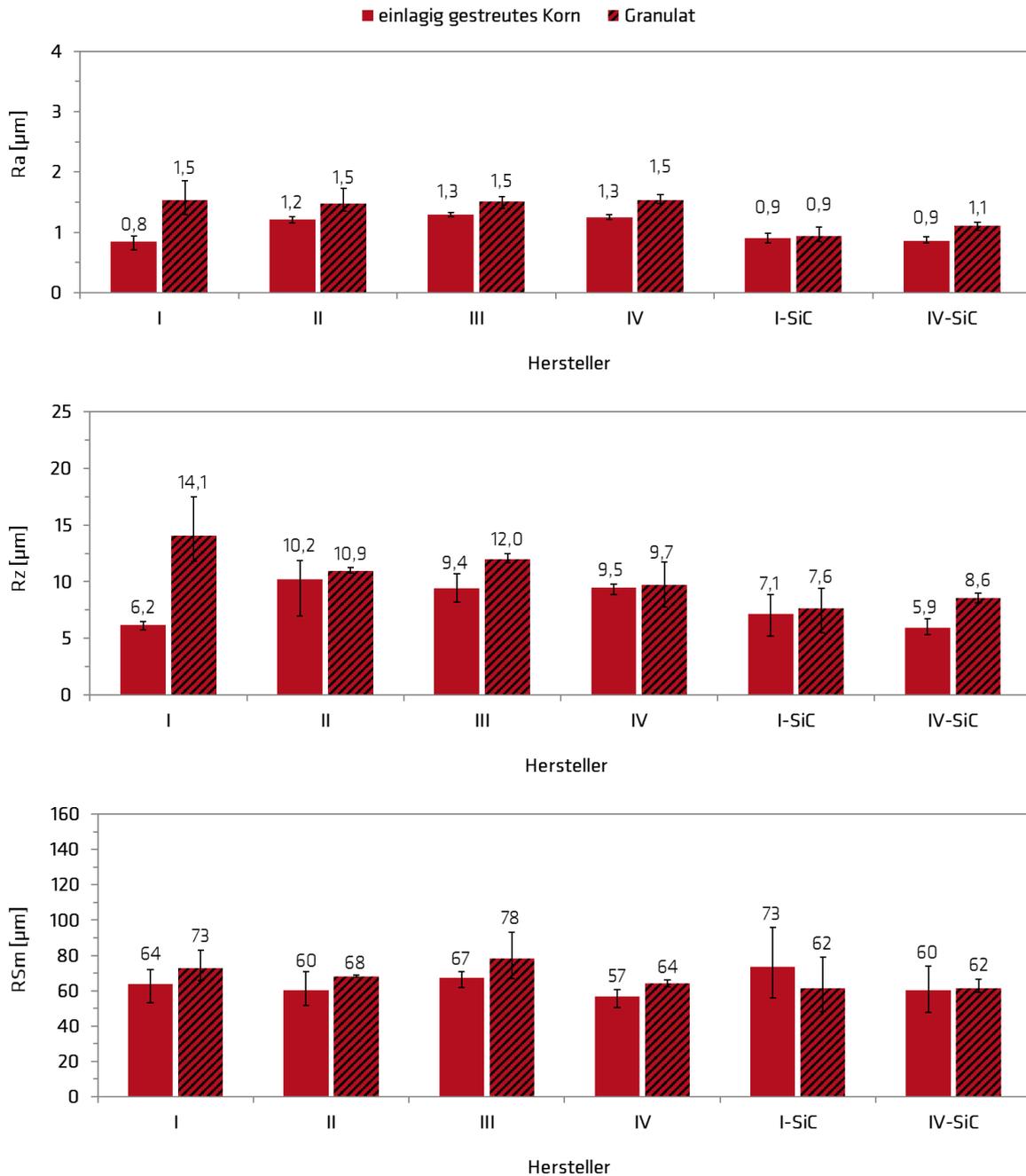
Die gemittelte Rauheitshöhe Rz nahm beim einlagig gestreuten Korn, wie bei Ra, mit Zunahme der Korngröße im Mittel zu. Die Streubalken von P180 und P120 vermittelten jedoch, dass die Rauheitszunahme von P180 zu P120 nicht mehr eindeutig vorhanden war. Bei den granulatgeschliffenen Oberflächen war eine Tendenz der Rauheitszunahme mit größer werdendem Korn anhand der Mittelwerte erkennbar. Diese Abhängigkeit war jedoch nicht eindeutig, da es zu Überschneidungen von Streubalken kam. Wie bei Ra, wurden auch bei Rz beim einlagig gestreuten Korn rauere Oberflächen beim Trockenschliff und den ohne Schleifhilfsstoff geschliffenen Proben festgestellt. Bei den granulatgeschliffenen Proben führte der Verzicht von Kühlschmierstoff zu einer Verringerung von Rz. Mit Erhöhung der Anpresskraft hatte die Rauheit beim einlagig gestreuten Korn tendenziell zugenommen und bei Granulat tendenziell abgenommen. Überschneidungen von Streubalken waren jeweils vorhanden. Die Verwendung von SiC verursachte beim einlagig gestreuten Korn eine leichte Erhöhung der Rauheit und bei Granulat eine deutliche Abnahme von Rz.

Bei der mittleren Rillenbreite RSm war unter Beachtung des Mittelwerts und der maximalen Abweichung eine Tendenz der Rauheitszunahme mit zunehmender Korngröße erkennbar. Diese Abhängigkeit war jedoch durch Überschneidungen von Streubalken nicht eindeutig.

Die Rauheitskennwerte Ra und Rz sowie z. T. RSm zeigten ähnliche Abhängigkeiten zwischen den Proben. Ein eindeutiger Unterschied zwischen einlagig gestreutem Korn und Granulat war nicht erkennbar. Die granulatgeschliffenen Oberflächen besaßen im Vergleich zum einlagig gestreuten Korn entweder vergleichbare oder etwas höhere Rauheiten. Ein deutlicher Unterschied zwischen den zwei Schleifbandtypen war beim Hauptzustand zu erkennen. Die Ra- und Rz-Werte von Granulat waren im Vergleich zum einlagig gestreuten Korn ungefähr doppelt so groß.

### **Herstellervergleich**

Die ermittelten Rauheitskennwerte Ra, Rz und RSm der Probenoberflächen des Herstellervergleichs werden in Abb. 16 gezeigt. Für die Schlitze wurden gleiche Schleifparameter verwendet, jedoch Schleifbänder von verschiedenen Herstellern eingesetzt.



**Abb. 16:** Rauheitskennwerte Ra, Rz und RSm der Probenoberflächen der Parametervariation

Die geringsten Rauheiten waren bei Ra und Rz im Mittel bei I-einlagig gestreutem Korn und SiC zu verzeichnen. Die Korundschliffe II–IV einlagig gestreutes Korn und Granulat, bewegten sich bei Ra und Rz in jeweils ähnlichen Rauheitsbereichen. I-Granulat hatte einen vergleichbaren Ra-Wert zu II-IV Granulat. Hinsichtlich Rz wurde bei I-Granulat jedoch die größte Rauheitshöhe festgestellt.

Alle RSm-Kennwerte bewegten sich unter Beachtung der Streubalken in einem ähnlichen Bereich. Zwischen der Kornart Korund und SiC war kein gravierender Unterschied erkennbar.

### Einfluss KBF4

Es wurden Schlitze mit zwei Schleifbändern erzeugt, wobei nur eins der zwei sonst identischen Schleifbänder KBF4 enthielt. Die ermittelten gemittelten Rauheitshöhen Rz sind in Tab. 10 aufgeführt.

**Tab. 10:** Rauheitskennwerte Rz von Oberflächen, die mit Schleifbändern mit und ohne KBF4 geschliffen wurden

Kennwert	II-A-180 ohne KBF4			II-A-180 mit KBF4		
	MW	min. Abw.	max. Abw.	MW	min. Abw.	max. Abw.
Rz [ $\mu\text{m}$ ]	11,4	0,24	0,40	14,7	2,09	1,46

Die Oberfläche „mit KBF4“ besaß einen etwas größeren Rz-Wert als die Oberfläche „ohne KBF4“.

### Einfluss Wiederholungsschliff

Von ausgewählten Schleifparametern wurden Wiederholungsschliffe angefertigt. Die ermittelten Rauheitskennwerte Rz der Wiederholungsschliffe sind in Tab. 11 denen der Erstschliffe gegenübergestellt.

**Tab. 11:** Rauheitskennwerte Rz vom Erst- und Wiederholungsschliff von ausgewählten Proben des Herstellervergleichs, Mittelwerte von drei Vergleichsmessungen

Schleifbandtyp	Probe	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	
		Erstschliff	Wiederholungsschliff
einlagig gestreutes Korn	I-A	6,2	6,9
	II-A	10,2	8,3
Granulat	I-B	14,1	11,6
	II-B	10,9	14,7
	IV-B	9,7	9,1
	IV-B-SiC	8,6	7,8

Die Rauheitskennwerte Rz der Wiederholungsschliffe bewegten sich im Vergleich zu den Erstschliffen zur Hälfte in einer vergleichbaren Größenordnung. Etwas größere Unterschiede bestanden bei II-A/B und I-B, wobei die Wiederholungsschliffe von II-A und I-B etwas geringere Rauheitshöhen im Vergleich zum Erstschliff aufwiesen und II-B eine etwas höhere.

### Einfluss Schleifvlies

An Wiederholungsschliffen erfolgte eine Nachbehandlung mit einem Schleifvlies. Die folgende Tab. 12 zeigt die an den be- und unbearbeiteten Oberflächen ermittelten Rauheitshöhen Rz.

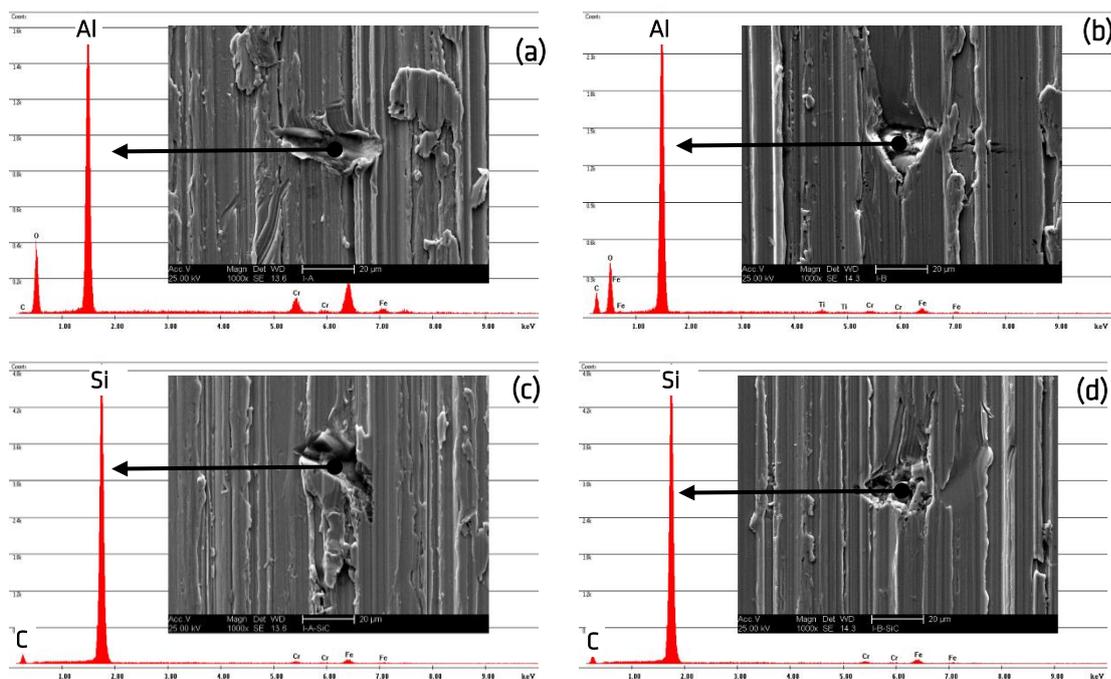
**Tab. 12:** Gemittelte Rauheitshöhen Rz von Wiederholungsschliffen mit und ohne Vliesbehandlung, Mittelwert von 3 Einzelmessungen

Schleifbandtyp	Probe	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	
		geschliffene Oberfläche	geschliffene Oberfläche + Nachbehandlung mit Schleifvlies
einlagig gestreutes Korn	I-A-w	6,9	6,6
	II-A-w	8,3	4,2
Granulat	I-B-w	11,6	5,1
	II-B-w	14,7	5,9
	IV-B-w	9,1	5,9
	IV-B-SiC-w	7,8	4,6

Durch die Vliesbehandlung haben sich die gemittelten Rauheitshöhen Rz bei allen Probenoberflächen reduziert. Eine besonders deutliche Abnahme von Rz war bei II-B-w zu verzeichnen. Durch das Vlies wurden demnach Profilspitzen abgetragen und die Oberfläche dadurch eingeebnet.

#### 4.1.3 REM-Untersuchung

Korund- und SiC-geschliffene Oberflächen wurden mittels REM untersucht. Alle untersuchten Oberflächen zeigten Oberflächendefekte in Form von Mikrospalten, Verwerfungen und eingedrückten Schleifpartikeln. Die eingedrückten Partikel wurden mittels EDX analysiert. Die Abb. 17 zeigt exemplarisch REM-Aufnahmen und EDX-Analysen von eingedrückten Partikeln, die in verschiedenen Oberflächen festgestellt wurden.

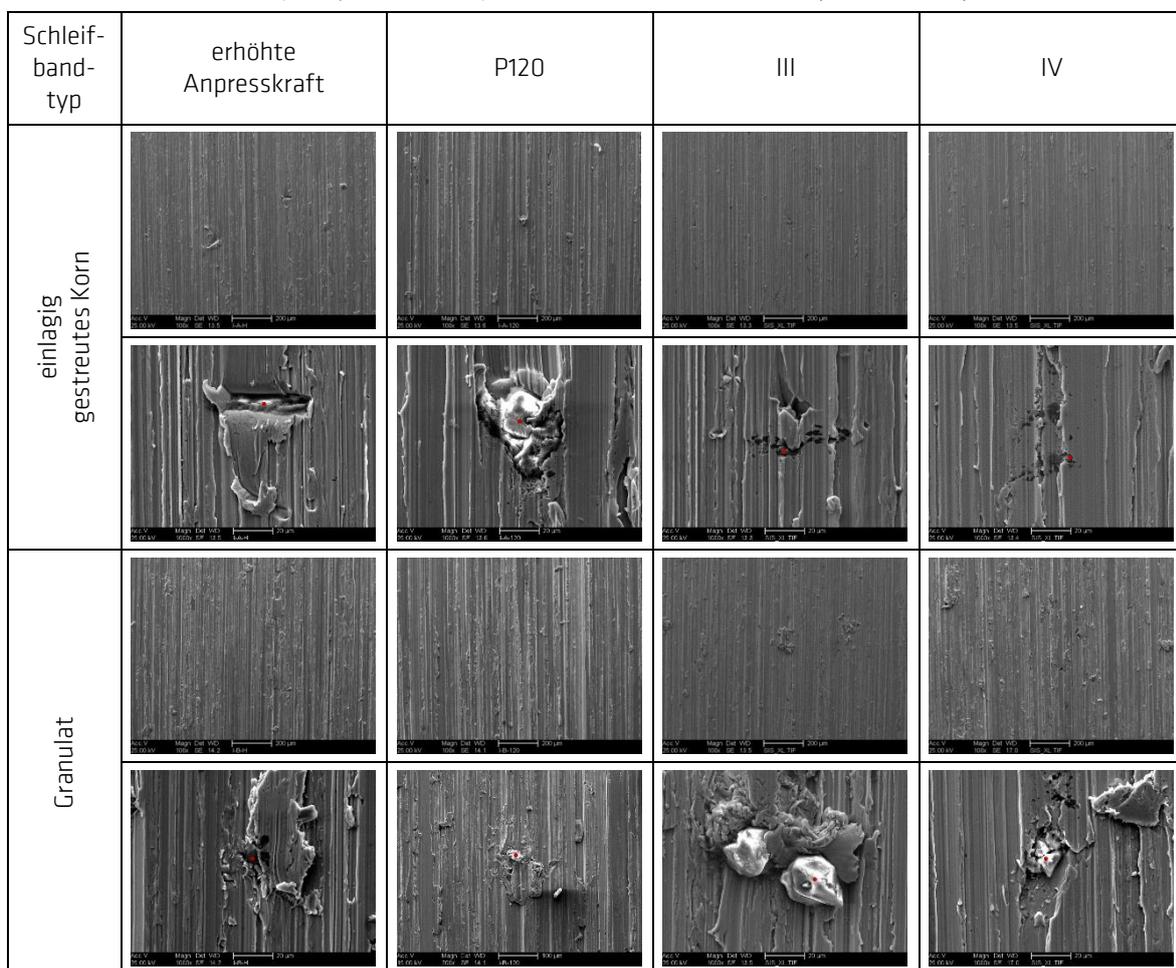


**Abb. 17:** REM-Aufnahmen und zugehörige EDX-Analyse von eingedrückten Schleifpartikeln in Oberflächen geschliffen mit einlagig gestreutem Korundkorn (a), Korund Granulat (b), einlagig gestreutem SiC-Korn (c) und SiC Granulat (d)

Die EDX-Analysen (Elementanalysen) zeigten bei den Partikeln in den korundgeschliffenen Oberflächen einen großen Peak für Aluminium (Al) (Abb. 17a, b). Korund besteht aus Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Die untersuchten Partikel konnten demnach als Korundschleifkornpartikel identifiziert werden. Die untersuchten Partikel in den SiC-geschliffenen Oberflächen erzeugten bei der EDX-Analyse einen großen Peak für Silizium (Si) (Abb. 17c, d). Bei den untersuchten Partikeln handelte es sich somit um SiC-Schleifpartikel.

Die folgende Tab. 13 zeigt eine Auswahl weiterer eingedrückter Schleifkornpartikel, die in korundgeschliffenen Oberflächen gefunden wurden.

**Tab. 13:** Übersichtsaufnahmen von Oberflächen, die mit verschiedenen Schleifparametern und Schleifbändern verschiedener Hersteller geschliffen wurden (Maßstablinie: 200  $\mu\text{m}$ ) sowie Nahaufnahmen von eingedrückten Schleifkornpartikeln (Maßstablinie: P120 Granulat: 100  $\mu\text{m}$ , Rest: 20  $\mu\text{m}$ )

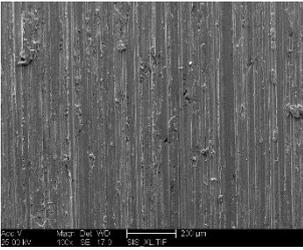
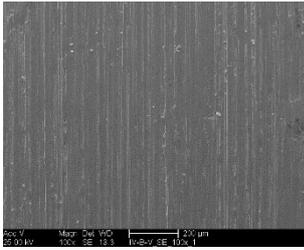
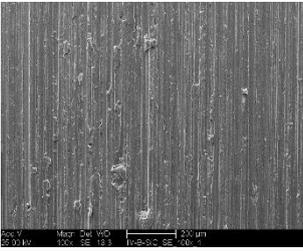
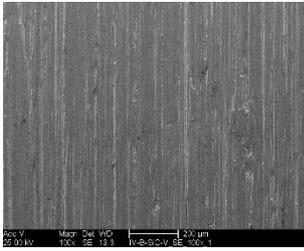


Eine hohe Defektdichte von Fremdpartikeln erschwert die Passivschichtausbildung. Bei den granulatgeschliffenen Oberflächen war im Vergleich zu den Schliffen mit einlagig gestreutem Korn die Anzahl an Defekten subjektiv betrachtet tendenziell größer (Tab. 13 Übersichtsaufnahmen). Eine Quantifizierung der Defektdichte war jedoch nicht möglich, da keine eindeutige oder einheitliche Klassifizierung der Defekte zugrunde gelegt werden konnte.

## Einfluss Schleifvlies

Teile der Oberfläche der geschliffenen Bleche IV-Granulat und IV-SiC-Granulat wurden mit einem Schleifvlies nachbehandelt. Die REM-Aufnahmen der mit und ohne Schleifvlies bearbeiteten Oberflächen sind in Tab. 14 zusammengefasst.

**Tab. 14:** REM-Aufnahmen von Oberflächen mit und ohne Vliesbehandlung

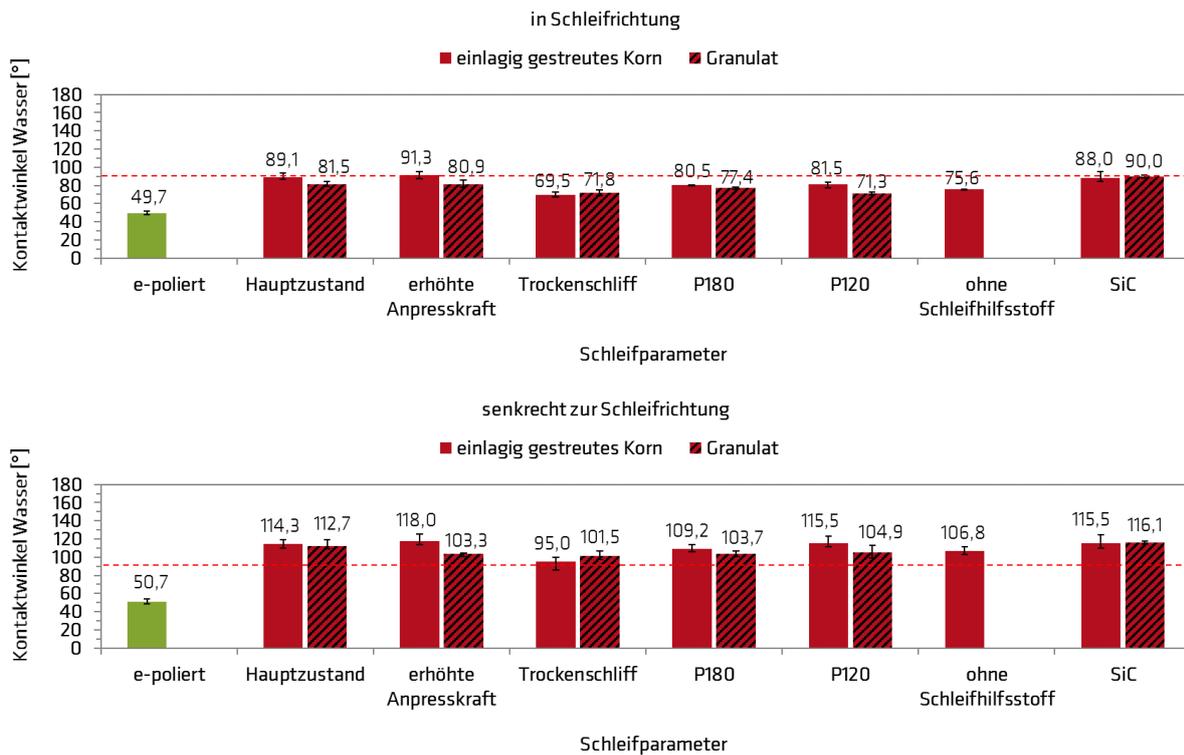
		geschliffene Oberfläche	geschliffene Oberfläche + Nachbehandlung mit Schleifvlies
IV Korund Granulat	REM		
IV-SiC Granulat	REM		

Die geschliffenen Oberflächen IV-Granulat und IV-SiC-Granulat zeigten viele Defekte in den Oberflächen. Durch die Vliesbehandlung wurden diese Defekte weitestgehend entfernt.

## 4.2 Ergebnisse Benetzungsverhalten

### 4.2.1 Parametervariation

Die Proben für die Kontaktwinkelmessung mit Wasser wurden zuvor 48 h bei 100 % r. F. und 40 °C vorkonditioniert. Die in Schleifrichtung und senkrecht zur Schleifrichtung ermittelten Kontaktwinkel sind in Abb. 18 dargestellt. Die dargestellten Mittelwerte wurden aus drei Einzelmessungen bestimmt.

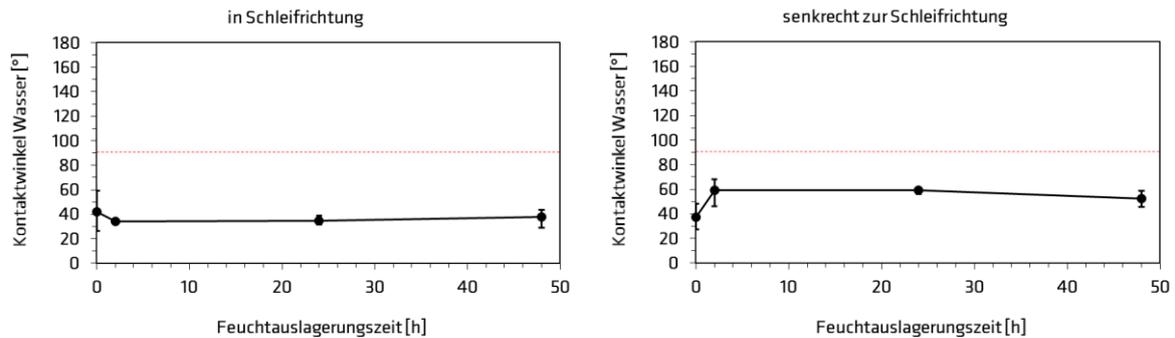


**Abb. 18:** Kontaktwinkel von Wassertropfen auf verschiedenen Oberflächen

Eine Oberfläche gilt bis zu einem Kontaktwinkel von 90° als benetzbar. Je geringer der Kontaktwinkel von Wasser ist, desto besser ist das Benetzungsverhalten der Oberfläche, auf der der Wassertropfen aufliegt. Die e-polierte Oberfläche wies demnach die beste Benetzbarkeit auf. Bei den Untersuchungen in Schleifrichtung konnte bei allen Proben noch eine Benetzbarkeit festgestellt werden. Die Kontaktwinkel senkrecht zur Schleifrichtung waren über 90°. Die Schleifriefen stützten den Wassertropfen, was eine Erhöhung des Kontaktwinkels zur Folge hatte. Senkrecht zur Schleifrichtung lag demnach eine schlechte Benetzbarkeit vor. Eine signifikante Differenzierung zwischen den Schleifparametern oder hinsichtlich des Schleifbandtyps war nicht möglich.

#### 4.2.2 Einfluss Feuchtauslagerung

Der Kontaktwinkel von Wassertropfen auf Trockenschliffen wurde nach 0 h, 2 h, 24 h und 48 h im Kondenswasserklima (100 % r. F., 40 °C) bestimmt, um den Einfluss einer sich bildenden Passivschicht auf das Benetzungsverhalten zu untersuchen. Die in und senkrecht zur Schleifrichtung ermittelten Kontaktwinkel zeigt die folgende Abb. 19.



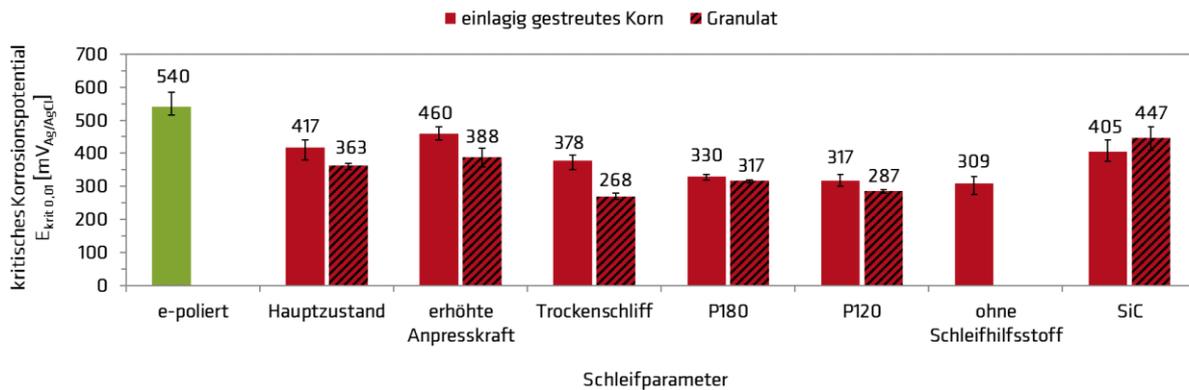
**Abb. 19:** Veränderung des Kontaktwinkels eines Wassertropfens auf einer trockengeschliffenen Oberfläche über die Auslagerungszeit im Kondenswasserklima bei 100 % r. F. und 40 °C

Eine Veränderung des Kontaktwinkels war bei der Messung senkrecht zur Schleifrichtung von 0 h auf 2 h zu erkennen. Der Kontaktwinkel nahm innerhalb dieses Zeitraums zu. Bei der Messung in Schleifrichtung war diese Tendenz nicht erkennbar. Ab 2 h Feuchtauslagerung war weder bei der Messung in Schleifrichtung, noch senkrecht zur Schleifrichtung eine signifikante Veränderung des Kontaktwinkels zu verzeichnen.

### 4.3 Ergebnisse elektrochemischer Untersuchungen

#### 4.3.1 Kritisches Korrosionspotential

Der für vergleichende Betrachtungen relevante elektrochemische Kennwert des kritischen Korrosionspotentials  $E_{krit}$  ist für alle Proben in potentiodynamischen Polarisationsversuchen bestimmt worden. Die Proben wurden zuvor 2 h bei 80 % r. F. und 20 °C vorkonditioniert. Die ermittelten kritischen Korrosionspotentiale der Proben des Parametervergleichs sind in Abb. 20 dargestellt.

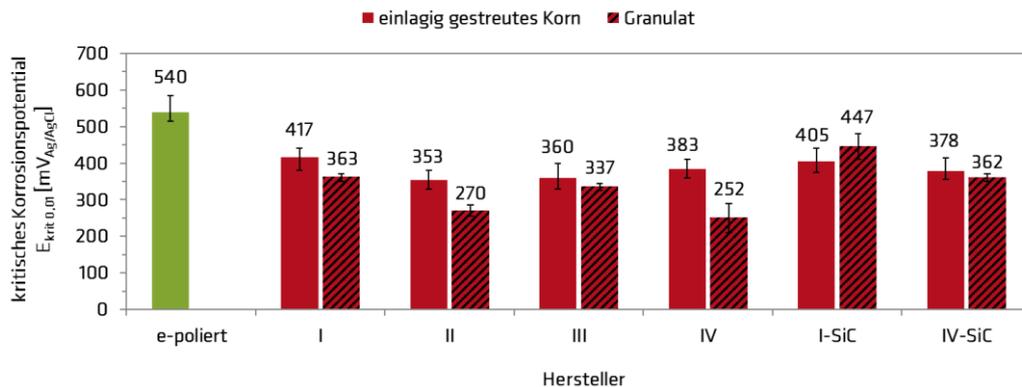


**Abb. 20:** Kritische Korrosionspotentiale  $E_{krit}$  der Proben der Parametervariation

Das kritische Korrosionspotential zeigt an, ab welchem Potential eine stabile Passivschicht nicht mehr aufrechterhalten bleiben konnte und lokal Korrosion begann. Je höher das kritische Korrosionspotential, desto besser ist die Korrosionsbeständigkeit unter den gegebenen Untersuchungsbedingungen.

Der elektropolierte Ausgangswerkstoff zeigte mit einem kritischen Korrosionspotential von +540 mV<sub>Ag/AgCl</sub> das höchste kritische Korrosionspotential und damit die größte Korrosionsbeständigkeit. Die geschliffenen Proben wiesen im Vergleich zum elektropolierten Ausgangszustand ein geringeres kritisches Korrosionspotential auf. Die größten kritischen Korrosionspotentiale hinsichtlich der geschliffenen Probenvarianten erreichten der Hauptzustand und die erhöhte Anpresskraft, die beide mit einlagig gestreutem Korn geschliffen wurden sowie die mit SiC-Korn geschliffenen Oberflächen. Der Verzicht von Kühlschmierstoff und Schleifhilfsstoff führte im Vergleich zum Hauptzustand zu einer Verringerung der kritischen Korrosionspotentiale und somit zu einer Abnahme der Korrosionsbeständigkeit. Beim Trockenschliff mit einlagig gestreutem Korn war dies jedoch nur tendenziell zu sehen. Das Schleifen mit größerem Korn P180 und P120 hatte ebenfalls eine Abnahme der kritischen Korrosionspotentiale zur Folge.

Die Ergebnisse des Herstellervergleichs zeigt die Abb. 21.



**Abb. 21:** Kritische Korrosionspotentiale  $E_{krit}$  der Proben des Herstellervergleichs

Die mit Korundgranulat geschliffenen Oberflächen erreichten im Vergleich zum einlagig gestreuten Korn niedrigere kritische Korrosionspotentiale. Besonders deutlich war der Unterschied bei II und IV zu erkennen. Die Proben II- und IV-Granulat erreichten zudem die niedrigsten kritischen Korrosionspotentiale. Bei den SiC-geschliffenen Oberflächen war dieser Einfluss des Schleifbandtyps nicht erkennbar. Vergleichbare kritische Korrosionspotentiale besaßen beim einlagig gestreuten Korn zum einen die Proben I und I-SiC und zum anderen die Proben II, III, IV und IV-SiC. Beim Granulat lagen vergleichbare kritische Korrosionspotentiale zum einen bei I, III und IV-SiC vor und zum anderen bei II und IV.

Die ermittelten kritischen Korrosionspotentiale der zwei Bleche, die mit und ohne den Schleifhilfsstoff KBF4 geschliffen wurden, zeigt die Tab. 15.

**Tab. 15:** Kritische Korrosionspotentiale  $E_{krit}$  von Oberflächen, die mit Schleifbändern mit und ohne KBF4 geschliffen wurden

Kennwert	II-A-180 ohne KBF4			II-A-180 mit KBF4		
	MW	min. Abw.	max. Abw.	MW	min. Abw.	max. Abw.
$E_{krit,0.01}$ [mV]	367	47	43	388	78	47

Bei den Proben „ohne KBF4“ und „mit KBF4“ lagen vergleichbare kritische Korrosionspotentiale vor und somit eine vergleichbare Passivschichtstabilität.

## 4.3.2 Elektrochemisch potentiodynamische Reaktivierung

### 4.3.2.1 EPR-DL

Der elektropolierte Ausgangszustand sowie die Proben des Parametervergleichs wurden mittels EPR-Test im Double-Loop-Verfahren untersucht, um die Sensibilisierung, die möglicherweise durch die Schleifwärme erzeugt wurde, bewerten und vergleichen zu können. Die in Tab. 16 angegebenen Sensibilisierungsquotienten  $C$  geben Auskunft über den Grad der Sensibilisierung.

**Tab. 16:** Passivierungspik  $i_P$  und Reaktivierungspik  $i_R$  sowie Sensibilisierungsquotient  $C$  und Sensibilisierungsgrad nach ASTM G108-94 von EPR-DL-Tests verschiedener Schleifparameter

Probe	Schleifbandtyp	$i_P$ [mA/cm <sup>2</sup> ]	$i_R$ [mA/cm <sup>2</sup> ]	$C = i_R / i_P$	Grad der Sensibilisierung
e-polier		5,33	0,002	0,001	keine Sensibilisierung
Hauptzustand	einlagig gestreutes Korn	23,15	0,10	0,004	
	Granulat	20,45	0,18	0,009	
erhöhte Anpresskraft	einlagig gestreutes Korn	20,28	0,14	0,007	
	Granulat	21,23	0,16	0,008	
Trockenschliff	einlagig gestreutes Korn	20,96	0,26	0,012	
	Granulat	22,08	0,03	0,001	keine Sensibilisierung
P180	einlagig gestreutes Korn	20,87	0,12	0,006	
	Granulat	20,96	0,23	0,011	leicht
P120	einlagig gestreutes Korn	21,94	0,13	0,006	keine Sensibilis.
	Granulat	18,91	0,23	0,012	leicht
ohne Schleifhilfsstoff	einlagig gestreutes Korn	20,58	0,24	0,012	leicht
I-SiC	einlagig gestreutes Korn	20,24	0,06	0,003	keine Sensibilisierung
	Granulat	16,26	0,06	0,004	

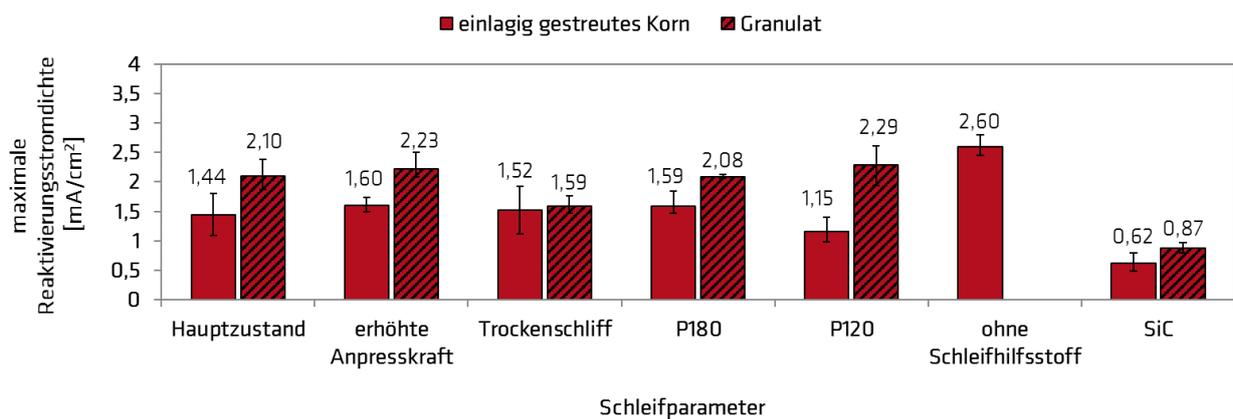
Bei fast allen Proben lag ein Sensibilisierungsquotient von  $C < 0,01$  vor und demnach nach ASTM G108-94 keine Sensibilisierung. Die vier Probenzustände einlagig gestreutes Korn Trockenschliff und ohne Schleifhilfsstoff sowie Granulat P180 und P120 wiesen mit  $C = 0,011 - 0,012$  eine leichte Sensibilisierung auf. Eine deutliche Unterscheidung des Einflusses der einzelnen Schleifparameter war anhand der ermittelten Ergebnisse nicht möglich.

Im Arbeitspaket 3 sollte die Tiefe des beeinflussten Werkstoffbereichs mithilfe des EPR-DL-Tests bestimmt werden. Dafür sollte mittels Elektropolieren definiert der Randbereich in 20  $\mu\text{m}$ -Schritten abgetragen werden, wobei nach jedem Schritt die elektrochemische Charakterisierung mittels EPR-DL-Test und KorroPad erfolgen sollte, bis der unbeeinflusste Grundwerkstoff entsprechend der elektrochemischen Charakterisierung in AP 1 (optimierter Referenzwerkstoff) wieder erreicht wird. Bei dem EPR-DL-Verfahren kommt es während des Passivierungsloops zu einer flächigen Auflösung der

Prüffläche. Dieser Materialabtrag war angesichts der sehr kleinen Sensibilisierungsquotienten scheinbar bereits ausreichend, um zum unbeeinflussten Grundwerkstoff zu gelangen. Eine definierte Tiefe des beeinflussten Werkstoffbereichs konnte anhand der Ergebnisse der EPR-DL-Versuche nicht bestimmt werden. Die Aufgabe der Tiefenbestimmung im AP 3 konnte demzufolge nicht bearbeitet werden, da sich das EPR-DL-Verfahren als ungeeignet herausstellte.

#### 4.3.2.2 EPR-SL

Ein modifizierter EPR-Test im Single-Loop-Verfahren wurde durchgeführt, um den Einfluss der verschieden geschliffenen Oberflächen auf die Passivschichtausbildung zu untersuchen. Dabei wurde die flächige Metallauflösung übersprungen und es blieben relevante Oberflächenbereiche erhalten, deren Einfluss auf die Passivschichtstabilität mittels des Reaktivierungsloops elektrochemisch erfasst werden konnten. Die ermittelten maximalen Reaktivierungsstromdichten der Proben der Parametervariation sind in Abb. 22 dargestellt.

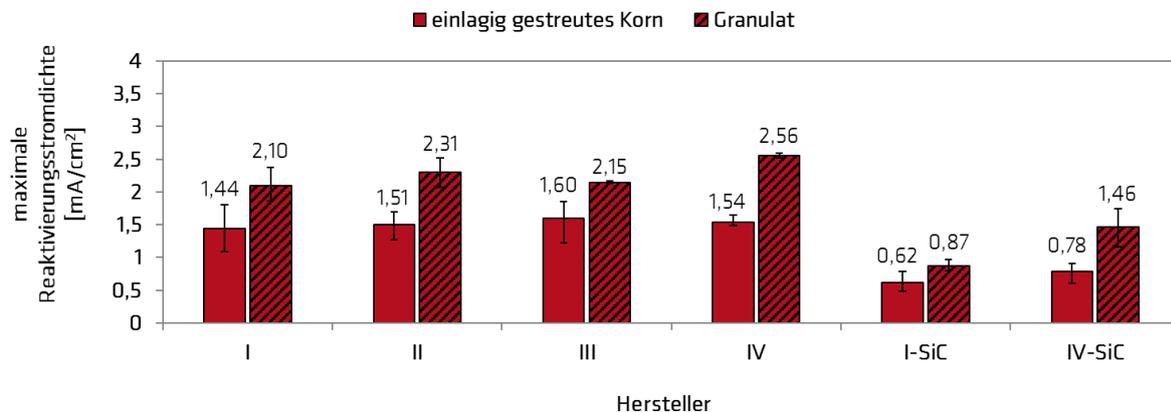


**Abb. 22:** Maximale Reaktivierungsstromdichten (Reaktivierungspeaks) der Proben der Parametervariation

Die maximale Reaktivierungsstromdichte, auch Reaktivierungspeak genannt, erlaubt Rückschlüsse auf instabil ausgebildete Passivschichten. Je kleiner der Reaktivierungspeak ist, desto weniger reaktivierbare Defekte besaß die Passivschicht und desto weniger Korrosion konnte stattfinden.

Die Ergebnisse in Abb. 22 zeigen, dass die SiC-geschliffenen Oberflächen die kleinsten Reaktivierungspeaks aufwiesen. Bei den SiC-Oberflächen lag demnach eine Passivschicht mit weniger Defekten vor als bei den korundgeschliffenen Oberflächen. Des Weiteren wurden bei den granulatgeschliffenen Oberflächen größere Reaktivierungspeaks ermittelt als beim einlagig gestreuten Korn. Die Passivschichten der granulatgeschliffenen Oberflächen lagen somit defektreicher und instabiler vor als die der mit einlagig gestreutem Korn geschliffenen Oberflächen. Bei dem einlagig gestreuten Korn ohne Schleifhilfsstoff konnte der größte Reaktivierungspeak und demnach die instabilste Passivschicht festgestellt werden.

Die ermittelten Reaktivierungspeaks des Herstellervergleichs zeigt die Abb. 23.



**Abb. 23:** Maximale Reaktivierungsstromdichten (Reaktivierungspeaks) der Proben des Herstellervergleichs

Die Abb. 23 zeigt ebenfalls einen deutlichen Unterschied zwischen den zwei Schleifbandtypen „einlagig gestreutes Korn“ und „Granulat“. Die größten Reaktivierungspeaks wurden bei den granulatgeschliffenen Oberflächen ermittelt. Ebenso deutlich war ein Unterschied hinsichtlich der Kornart erkennbar. Ein Vergleich von Korund und SiC des gleichen Schleifbandtyps zeigte, dass die SiC-geschliffenen Oberflächen deutlich geringere Reaktivierungspeaks erzeugten als die korundgeschliffenen Oberflächen. Die SiC-geschliffenen Oberflächen besaßen somit eine stabilere Passivschicht.

#### Einfluss KBF4

Die EPR-SL-Ergebnisse der zwei Bleche, die mit und ohne den Schleifhilfsstoff KBF4 geschliffen wurden, sind in Tab. 17 zusammengefasst.

**Tab. 17:** Reaktivierungspeaks von Oberflächen, die mit Schleifbändern mit und ohne KBF4 geschliffen wurden

Kennwert	II-A-180 ohne KBF4			II-A-180 mit KBF4		
	MW	min. Abw.	max. Abw.	MW	min. Abw.	max. Abw.
$i_{\text{Reaktivierungspeak}}$ [mA/cm <sup>2</sup> ]	1,47	0,20	0,22	1,70	0,15	0,14

Die EPR-SL-Tests zeigten bei der Oberfläche „mit KBF4“ im Mittel einen etwas höheren Reaktivierungspeak, was eine etwas instabilere Passivschicht verdeutlicht. Jedoch ist dieser Unterschied nicht eindeutig, da Überschneidungen von Abweichungen vorlagen.

## Einfluss Schleifvlies

Die geschliffenen und gevliesten Oberflächen der Wiederholungsschliffe IV-Granulat und IV-SiC-Granulat wurden mit dem EPR-SL-Test untersucht, um den Einfluss der Vliesbehandlung auf die Passivschichtstabilität bewerten zu können. Die ermittelten maximalen Reaktivierungsstromdichten sind in der folgenden Tab. 18 aufgeführt.

**Tab. 18:** Mittelwert von maximalen Reaktivierungsstromdichten (Reaktivierungspeaks) von Oberflächen mit und ohne Vliesbehandlung

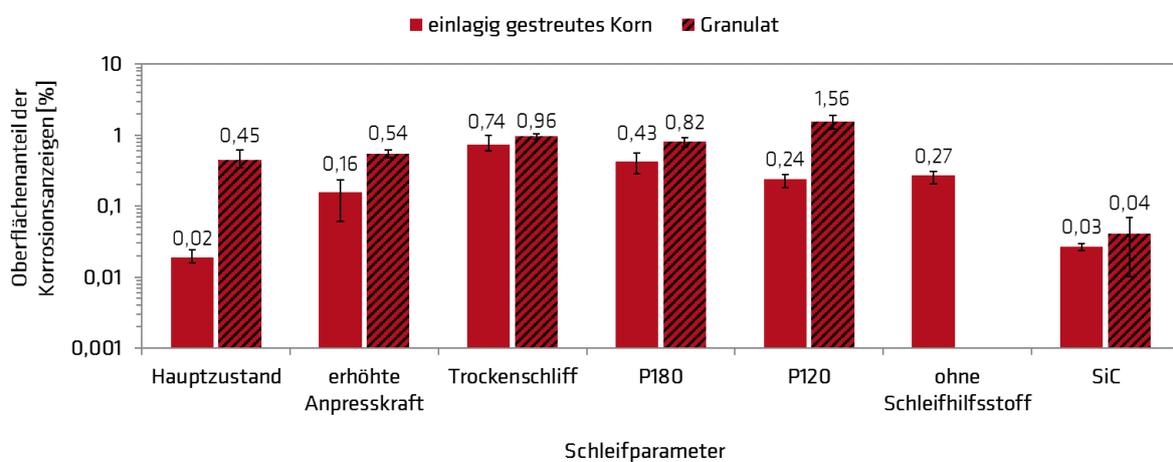
Schleifband- typ	Probe	maximale Reaktivierungsstromdichte [mA/cm <sup>2</sup> ]	
		geschliffene Oberfläche	geschliffene Oberfläche + Nachbehandlung mit Schleifvlies
Granulat	IV-B-w	1,91	0,53
	IV-B-SiC-w	0,66	0,19

Bei den gevliesten Oberflächen waren im Gegensatz zu den geschliffenen Oberflächen deutlich geringere Reaktivierungspeaks zu verzeichnen. Die Ergebnisse an den gevliesten Oberflächen liefern damit Hinweise auf eine geringe Häufigkeit von Störstellen und damit eine stabilere Passivschicht.

## 4.4 Ergebnisse KorroPad

### 4.4.1 Einfluss Schleifband

Der elektropolierte Ausgangszustand sowie alle geschliffenen Oberflächen wurden mit KorroPads geprüft, um die Stabilität der ausgebildeten Passivschichten zu untersuchen und darauf basierend die Korrosionsanfälligkeit bewerten und vergleichen zu können. Die Proben wurden vor der KorroPad-Prüfung 2 h lang bei 80 % r. F. und 20 °C vorkonditioniert. Je Probenoberfläche wurden drei KorroPads verwendet. Die KorroPads des elektropolierten Ausgangszustands zeigten keinerlei Korrosionsanzeigen. Die elektropolierte Oberfläche verfügte somit über eine stabile Passivschicht. Die KorroPad-Ergebnisse des Parametervergleichs sind in Abb. 24 dargestellt.

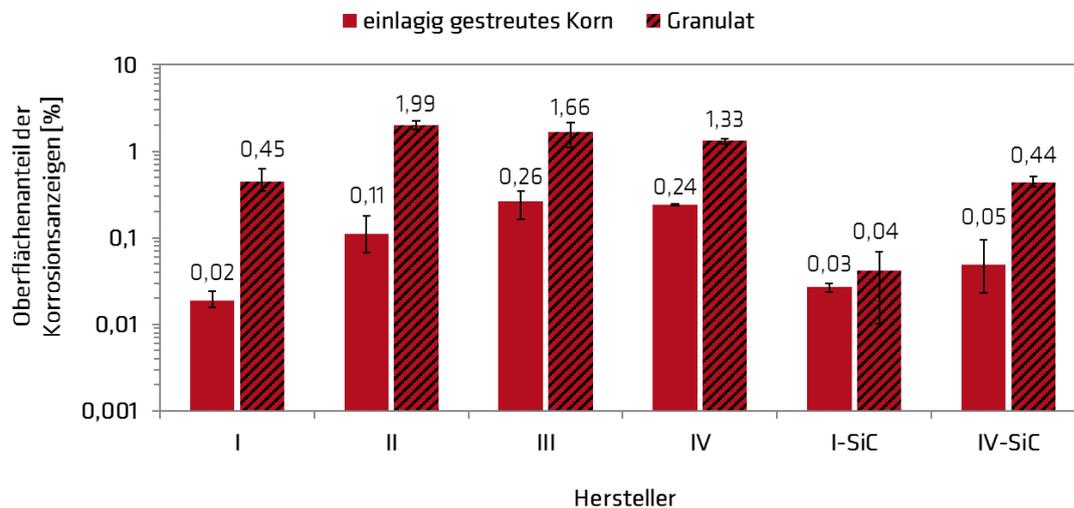


**Abb. 24:** Prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen der Proben der Parametervariation, Mittelwert aus 3 KorroPads je Schleifparameter

Die größten prozentualen Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen wurden bei den mit Korundgranulat geschliffenen Oberflächen ermittelt. Es war zudem ein signifikanter Unterschied zum einlagig gestreuten Korn zu verzeichnen. Dieser Unterschied hinsichtlich des Schleifbandtyps war bei den SiC-geschliffenen Oberflächen nicht erkennbar. Die SiC-geschliffenen Oberflächen sowie der Hauptzustand vom einlagig gestreuten Korn zeigten des Weiteren die kleinsten prozentualen Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen. Diese Oberflächen verfügten demnach über eine stabile Passivschicht. Die restlichen korundgeschliffenen Oberflächen erreichten im Mittel prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen größer 0,1 %. Diese Oberflächen zeigten somit eine höhere Korrosionsanfälligkeit, bei der im späteren Einsatz korrosionsbedingte Verfleckungen möglich sind. Die höchste Korrosionsanfälligkeit war bei P120 Granulat zu verzeichnen. Mit einem prozentualen Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen größer 1 % wären bei dieser Probe neben Verfleckungen, auch das Auftreten von lokaler Korrosion möglich. Hinsichtlich der Korngröße zeigte sich, dass bei den granulatgeschliffenen Oberflächen der prozentuale Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen mit zunehmender Korngröße zunahm. Die Oberflächen wurden somit mit zunehmender Korngröße korrosionsanfälliger. Beim einlagig gestreuten Korn war diese Entwicklung nur zwischen dem Hauptzustand (P240) und P180 sowie dem Hauptzustand und P120 zu erkennen. Die höheren prozentualen Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen der Proben Trockenschliff und ohne Schleifhilfsstoff zeigten im Vergleich zum Hauptzustand,

dass ein Verzicht von Kühlschmierstoff und Schleifhilfsstoff zu korrosionsanfälligeren Oberflächen führte.

Die KorroPad-Ergebnisse des Herstellervergleichs veranschaulicht die Abb. 25.



**Abb. 25:** Prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen der Proben des Herstellervergleichs, Mittelwert aus 3 KorroPads je Schleifparameter

Der Einfluss des Schleifbandtyps war bei allen Schliften, mit Ausnahme von I-SiC, signifikant. Bei den granulatgeschliffenen Oberflächen wurden deutlich größere prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen ermittelt als bei den Oberflächen, die mit einlagig gestreutem Korn bearbeitet wurden. Es zeigte sich zudem, dass Korund- und SiC-geschliffene Oberflächen vorhanden waren, die über eine vergleichbare Korrosionsanfälligkeit verfügten. Beim einlagig gestreuten Korn besaßen die Oberflächen I (Korund) und I-SiC sehr stabile Passivschichten. Hinsichtlich der Granulatschliffe zeigten I (Korund) und IV-SiC ähnliche prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen und somit vergleichbare Korrosionsanfälligkeiten. Die granulatgeschliffenen Oberflächen II-IV wiesen mit prozentualen Oberflächenanteilen der Korrosionsanzeigen größer 1 % die korrosionsanfälligsten Oberflächen auf. Bei diesen KorroPad-Ergebnissen ist im späteren Einsatz ein Erscheinen von Verfleckungen sehr wahrscheinlich und das Auftreten von lokaler Korrosion, die zu Strukturschädigungen führen kann, möglich.

Die KorroPads der Parametervariation und des Herstellervergleichs wurden neben dem prozentualen Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen auch hinsichtlich der KorroPad-Anzeigengröße analysiert. Die Größe der KorroPad-Korrosionsanzeigen lieferte weitere wichtige Hinweise hinsichtlich der Korrosionsanfälligkeit der Oberflächen. Je größer KorroPad-Anzeigen sind, desto kritischer werden sie. Große KorroPad-Anzeigen verdeutlichen, dass viel Korrosion stattgefunden hat. An diesen Stellen ist eine spätere Verfleckung wahrscheinlich und lokale Korrosion möglich.

Für die Auswertung der KorroPads hinsichtlich der Anzeigengröße, wurden 12 Größenklassen von 0 bis 4 mm<sup>2</sup> festgelegt. Die Größenverteilung der drei applizierten KorroPads je Probenzustand wurde anschließend ermittelt, aufsummiert und die ermittelten Summen den 12 Größenklassen zugeordnet. Die

Größenverteilung der KorroPad-Anzeigen der Proben der Parametervariation ist in Tab. 19 zusammengefasst.

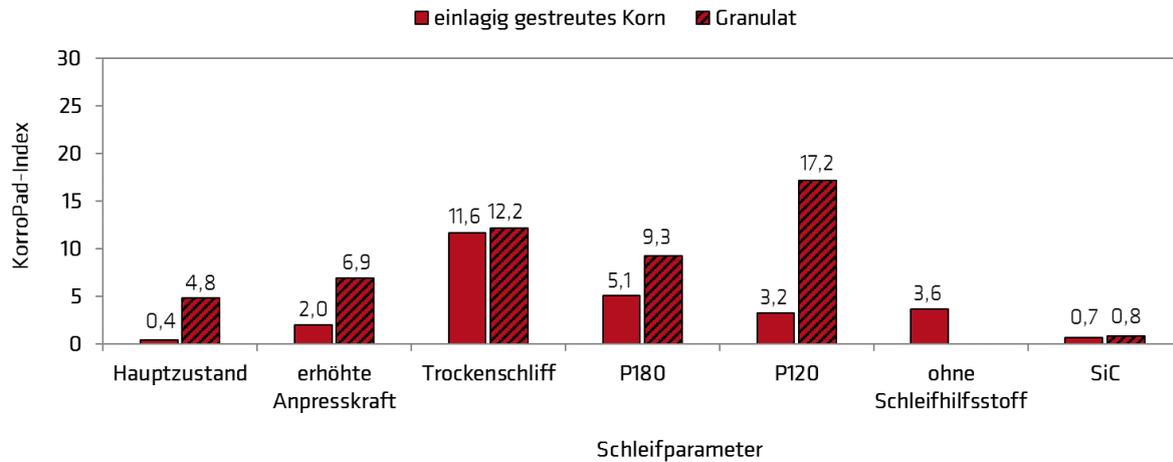
**Tab. 19:** Größenverteilung der KorroPad-Korrosionsanzeigen der Proben der Parametervariation, die mit einlagig gestreutem Korn (A) und Granulat (B) geschliffen wurden, Summe von 3 KorroPads

		Objektfläche der Korrosionsanzeigen [mm <sup>2</sup> ]												
		Schleif- band- typ	0 - 0,02	> 0,02 - 0,04	> 0,04 - 0,06	> 0,06 - 0,08	> 0,08 - 0,1	> 0,1 - 0,2	> 0,2 - 0,4	> 0,4 - 0,6	> 0,6 - 0,8	> 0,8 - 1,0	> 1,0 - 2,0	> 2,0 - 4,0
Probe	Haupt- zustand	A	14	3										
		B	28	6	3	4	3	2	3	1		1		
	I-H	A	21	1	2			1		2				
		B	75	16	5	7	1	7	6					
	I-T	A	264	38	5	3	1	7	2				1	
		B	230	49	17	15	6	10	2					
	P180	A	64	8	2	2	2	3	3	2				
		B	56	9	4	3	5	8	10	2				
	P120	A	45	5	4	1		5	2					
		B	31	3	1	2		2	1	1	1		3	2
	I-K2	A	34	3	2		1	3	5					
	SiC	A	23	2	2									
		B	24	5	2									

Bei den granulatgeschliffenen Oberflächen traten im Vergleich zum einlagig gestreuten Korn tendenziell mehr KorroPad-Anzeigen je Größenklasse auf. Ein signifikanter Unterschied zwischen den zwei Schleifbandtypen hinsichtlich der maximalen KorroPad-Anzeigengröße war beim Hauptzustand und P120 zu erkennen, bei dem die granulatgeschliffenen Oberflächen deutlich größere KorroPad-Anzeigen erzeugten. Bei den zwei Probenzuständen I-H und I-T wurden die größten KorroPad-Anzeigen beim einlagig gestreuten Korn ermittelt. Die größten KorroPad-Anzeigen waren bei P120-Granulat, mit einer Größe zwischen 2 – 4 mm<sup>2</sup>, festzustellen.

Nach den vorliegenden Erfahrungen sind Anzahl und Größe der KorroPad-Anzeigen die für eine Beurteilung der Passivschichtstabilität relevanten Kriterien. Je mehr große Anzeigen im KorroPad vorhanden sind, desto korrosionsanfälliger und kritischer ist der Oberflächenzustand. Um den Einfluss großer und kleiner KorroPad-Anzeigen zu gewichten, wurde ein KorroPad-Index bestimmt. Dazu wurden die Korrosionsanzeigen einer Größenklasse zunächst mit dem oberen Wert der Größenklasse multipliziert. Die ermittelten Produkte einer jeden Größenklasse wurden anschließend aufsummiert. Große KorroPad-Anzeigen haben somit einen größeren Einfluss auf den KorroPad-Index als kleine.

Die KorroPad-Indizes für die Parametervariation sind in Abb. 26 dargestellt.



**Abb. 26:** KorroPad-Indizes der Parametervariation

Die Abhängigkeiten der KorroPad-Indizes zwischen den Schleifbandtypen und den Schleifparametern waren vergleichbar mit denen der prozentualen Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen (Abb. 24). Die Unterschiede traten beim KorroPad-Index jedoch deutlicher hervor. Bei allen Probenzuständen in Abb. 26 konnte der höchste KorroPad-Index bei den granulatgeschliffenen Oberflächen festgestellt werden. Besonders signifikant war der Unterschied zwischen den zwei Schleifbandtypen bei P120. Bei der Oberfläche P120-Granulat wurden im Gegensatz zum einlagig gestreuten Korn mehrere sehr große KorroPad-Anzeigen ermittelt (Tab. 19), was der KorroPad-Index deutlich zum Ausdruck brachte. Die geringsten KorroPad-Indizes wurden beim Hauptzustand-einlagig gestreutes Korn (Korund) und bei SiC ermittelt.

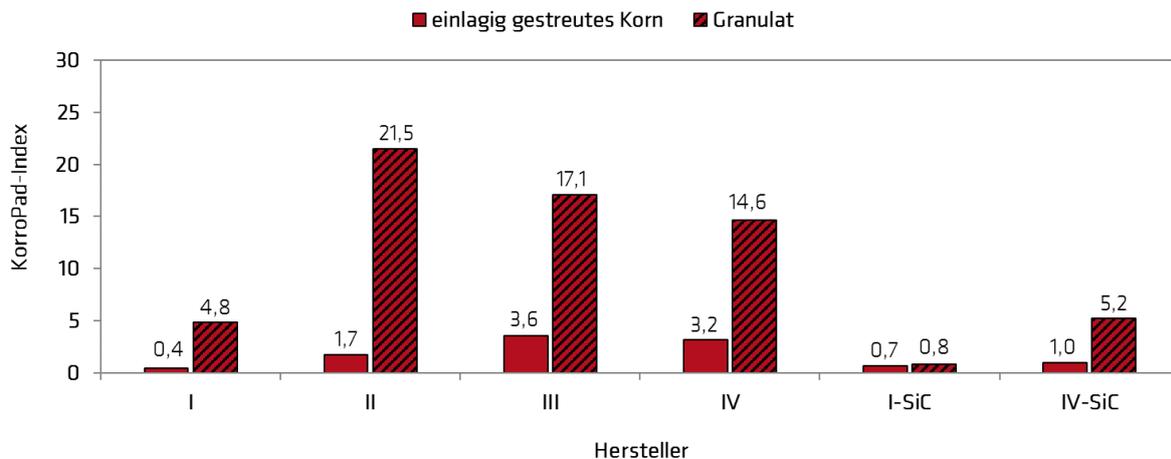
Die Größenverteilung der KorroPad-Anzeigen des Herstellervergleichs ist in Tab. 20 aufgeführt.

**Tab. 20:** Größenverteilung der KorroPad-Korrosionsanzeigen der Proben des Herstellervergleichs, die mit einlagig gestreutem Korn (e) und Granulat (G) geschliffen wurden, Summe von 3 KorroPads

		Schleif- bandtyp	Objektfläche der Korrosionsanzeigen [mm <sup>2</sup> ]											
			0 - 0,02	> 0,02 - 0,04	> 0,04 - 0,06	> 0,06 - 0,08	> 0,08 - 0,1	> 0,1 - 0,2	> 0,2 - 0,4	> 0,4 - 0,6	> 0,6 - 0,8	> 0,8 - 1,0	> 1,0 - 2,0	> 2,0 - 4,0
Probe	I	A	14	3										
		B	28	6	3	4	3	2	3	1		1		
	II	A	32	4	2	2		1	1					
		B	42	10	8	2	2	11	12	3	2	1	2	1
	III	A	66	8	3	3	1	3	2					
		B	70	11	4			7	1	1	2	1	5	
	IV	A	44	1	1		2	2	1	2				
		B	30	3	3	3	1	6	2	1	1	2	4	
	I-SiC	A	23	2	2									
		B	24	5	2									
	IV-SiC	A	31	4				1						
		B	53	8	2	6	2	7	4					

Die Tab. 20 zeigt, dass die granulatgeschliffenen Oberflächen, mit Ausnahme von I-SiC, deutlich mehr und größere KorroPad-Anzeigen erzeugten als die mit einlagig gestreutem Korn geschliffenen Oberflächen. Beim einlagig gestreuten Korn besaßen die größten KorroPad-Anzeigen eine Größe zwischen 0,4 mm<sup>2</sup> und 0,6 mm<sup>2</sup> (IV). Die KorroPad-Anzeigen der granulatgeschliffenen Oberflächen erreichten auch Größen zwischen 1 - 4 mm<sup>2</sup> (II, III, IV). Die größten KorroPad-Anzeigen wurden bei Korund-Granulat festgestellt. Bei den SiC-granulatgeschliffenen Oberflächen erschienen deutlich kleinere Anzeigen im KorroPad. Die größten Anzeigen waren bei I-SiC-Granulat 0,04 - 0,06 mm<sup>2</sup> und bei IV-SiC-Granulat 0,2 - 0,4 mm<sup>2</sup>.

Die KorroPad-Indizes für den Herstellervergleich sind in Abb. 27 dargestellt.



**Abb. 27:** KorroPad-Indizes des Herstellervergleichs

Der Einfluss des Schleifbandtyps kam bei dem Herstellervergleich sehr deutlich hervor. Die KorroPad-Indizes der granulatgeschliffenen Oberflächen waren, mit Ausnahme von I-SiC, deutlich größer als die des einlagig gestreuten Kornes. Besonders groß war der Unterschied zwischen den Schleifbandtypen bei den Proben II, III und IV. Die Proben II-IV-Granulat erreichten die größten KorroPad-Indizes, da KorroPads dieser Probenzustände mehrere größere KorroPad-Anzeigen zeigten sowie sehr große Anzeigen der hohen Größenkategorien 1 – 4 mm<sup>2</sup> (Tab. 20). Der KorroPad-Index spiegelte das kritische KorroPad-Ergebnis dieser drei Probenzustände sehr gut wider. Die KorroPad-Indizes der drei Probenzustände korrelierten zudem mit den ermittelten prozentualen Oberflächenanteilen der Korrosionsanzeigen, bei denen ebenfalls kritische Werte größer 1 % festgestellt wurden.

Hinsichtlich der Kornart Korund und SiC zeigte sich, wie bereits bei dem prozentualen Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen (Abb. 25), dass die korundgeschliffenen Oberflächen oftmals mehr und größere KorroPad-Anzeigen erzeugten als die mit SiC des gleichen Schleifbandtyps geschliffenen Oberflächen, was in größere KorroPad-Indizes resultierte. Jedoch gab es auch vergleichbare KorroPad-Indizes von Korund- und SiC-Schliffen. Der KorroPad-Index von I-einlagig gestreutes Korn (Korund) war genauso niedrig wie I-SiC.

#### 4.4.2 Einfluss KBF4

Die KorroPad-Ergebnisse der zwei Bleche, die mit Schleifbändern mit und ohne KBF4 geschliffen wurden, zeigt die Tab. 21. Vor der KorroPad-Prüfung wurden die Proben 2 h lang bei 80 % r. F. und 20 °C vorkonditioniert.

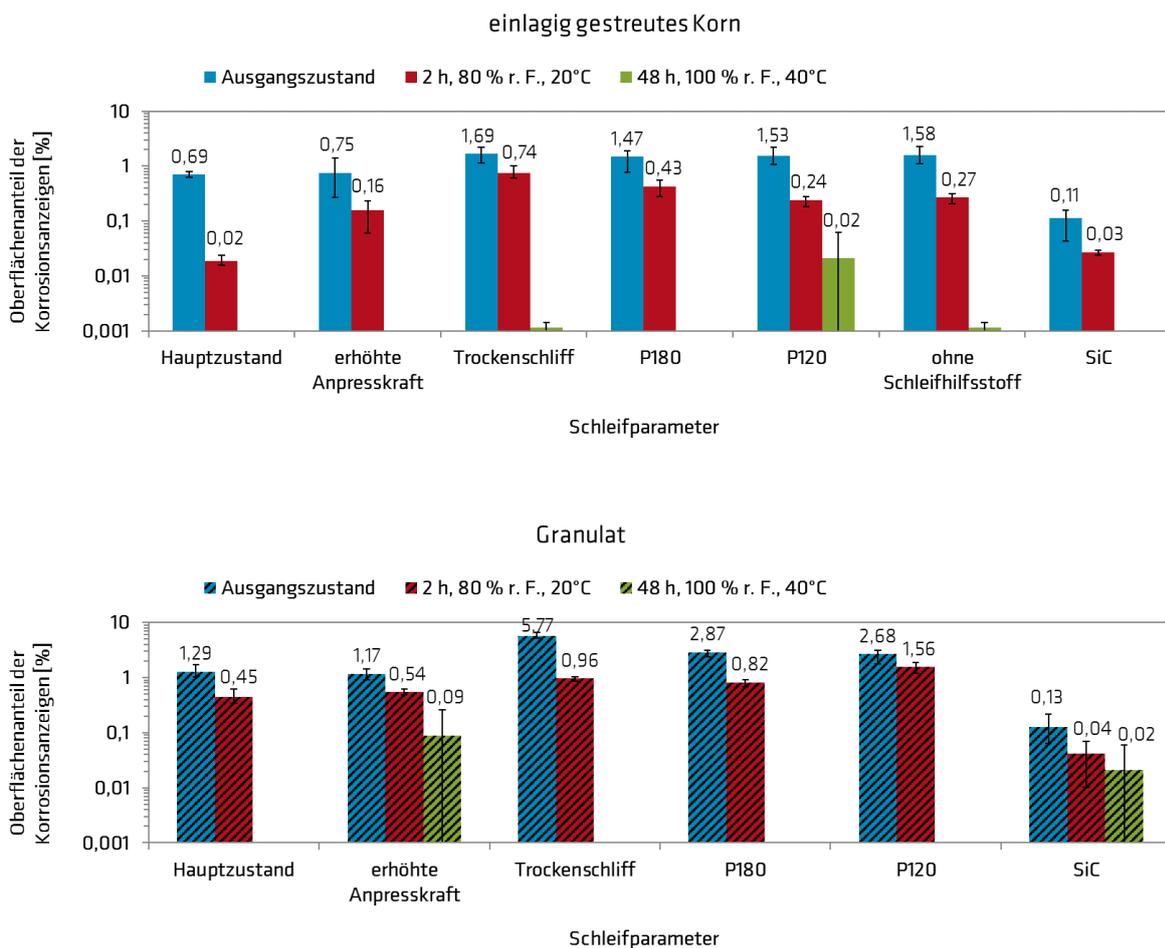
**Tab. 21:** KorroPad-Ergebnisse von Oberflächen, die mit Schleifbändern mit und ohne KBF4 geschliffen wurden

Kennwert	II-A-180 ohne KBF4			II-A-180 mit KBF4		
	MW	min. Abw.	max. Abw.	MW	min. Abw.	max. Abw.
prozentualer Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen [%]	<b>0,17</b>	0,068	0,065	<b>0,08</b>	0,023	0,016

Die geschliffene Oberfläche „mit KBF4“ wies einen geringeren prozentualer Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen auf als die Probenoberfläche „ohne KBF4“. Bei der Probe „mit KBF4“ lag eine stabile Passivschicht vor. Die Oberfläche „ohne KBF4“ war korrosionsanfälliger.

#### 4.4.3 Einfluss Feuchtauslagerung

Die Proben der Parametervariation wurden für 2 h (80 % r. F., 20 °C) und 48 h (100 % r. F., 40 °C) feucht ausgelagert. Eine Feuchtauslagerung über 48 h sollte zeigen, ob die Passivschichtstabilität der geschliffenen Proben durch ein längeres und höheres Luftfeuchteangebot verbessert werden kann. Um den Einfluss der Luftfeuchte umfassend zu untersuchen, wurde von allen Proben auch der Ausgangszustand vor der Feuchtauslagerung mittels KorroPads geprüft. Die Ergebnisse sind in der Abb. 28 dargestellt.

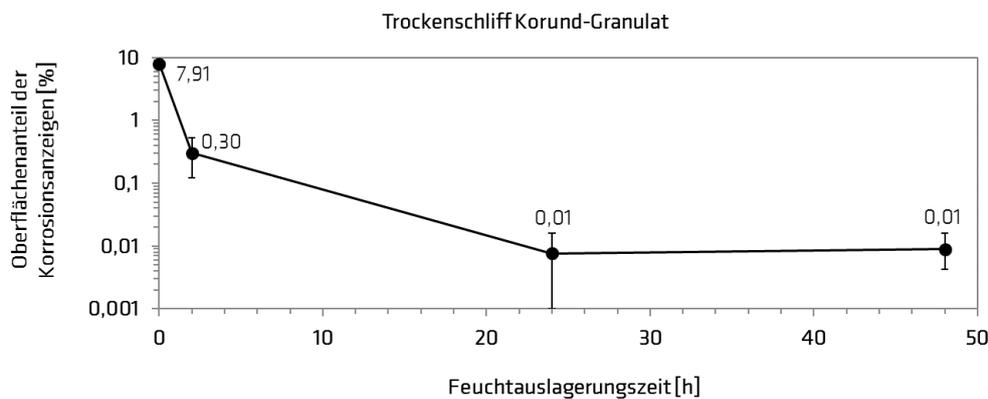


**Abb. 28:** Prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen der Proben der Parametervariation nach verschiedenen Feuchtauslagerungsdauern, Mittelwert aus 3 KorroPads je Schleifparameter

Die Abb. 28 zeigt eine deutliche Verringerung des prozentualen Oberflächenanteils der Korrosionsanzeigen mit zunehmender Feuchtauslagerungszeit. Nach 2 h Feuchtauslagerung wurden bei vielen Probenoberflächen noch prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen größer 0,1 % ermittelt. Innerhalb einer Feuchtauslagerungszeit von 48 h verbesserte sich die Passivschichtstabilität nochmals

signifikant, so dass bei einer KorroPad-Prüfung nach 48 h bei fast allen Proben keine Korrosionsanzeigen mehr erschienen und somit eine sehr stabile Passivschicht nachgewiesen werden konnte. Besonders deutlich wurde der positive Einfluss der Luftfeuchte bei P120-Granulat. Nach 2 h Feuchtauslagerung war noch ein hoher und kritischer prozentualer Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen von 1,56 % feststellbar. Nach 48 h Feuchtauslagerung traten keinerlei Korrosionsanzeigen mehr auf. Bei den Proben, die nach 48 h Feuchtauslagerung noch sehr geringe prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen aufwiesen, handelte es sich jeweils lediglich um eine Anzeige in einem KorroPad. Auch diese Oberflächen besaßen eine stabile Passivschicht.

Des Weiteren wurden Trockenschliffe (Korund, Granulat, P240), die mit einer Handschleifmaschine erzeugt wurden, für 0 h, 2 h, 24 h und 48 h im Kondenswasserklima (100 % r. F., 40 °C) vorkonditioniert und anschließend mittels KorroPad geprüft, um den Einfluss der Feuchtauslagerungsdauer auf die Passivschichtausbildung zu untersuchen. Die KorroPad-Ergebnisse zeigt die Abb. 29.

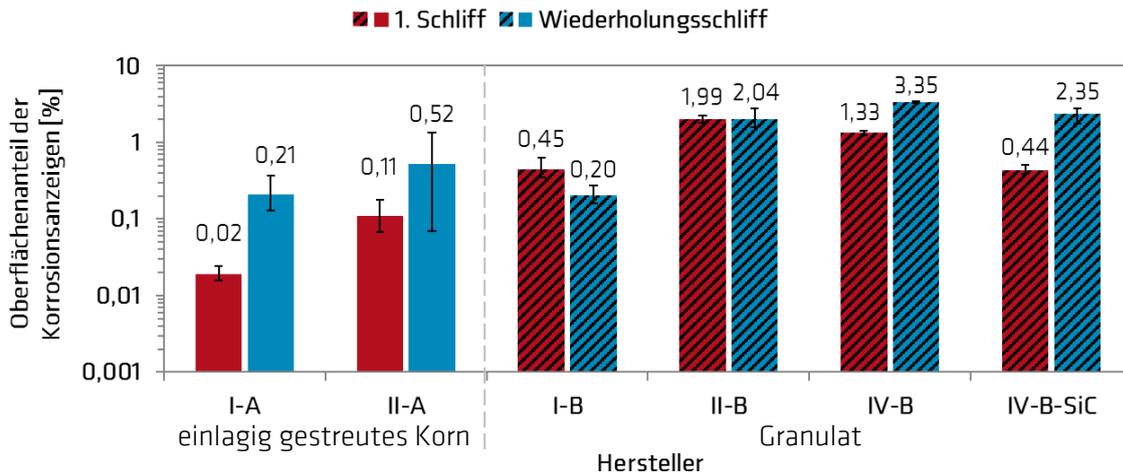


**Abb. 29:** Prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen von Trockenschliffen, die für 0 h, 2 h, 24 h und 48 h bei 100 % r. F. und 40 °C ausgelagert wurden, Mittelwerte von 3 KorroPads

Der prozentuale Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen nahm mit zunehmender Feuchtauslagerungsdauer deutlich ab. An dieser Entwicklung war die mit längerer Auslagerungszeit stabiler werdende Passivschicht erkennbar. Die größte Veränderung hinsichtlich der Passivschichtausbildung erfolgte während der ersten 2 h Feuchtauslagerung. Nach 24 h war eine stabile Passivschicht ausgebildet.

#### 4.4.4 Einfluss Wiederholungsschliff

Die KorroPad-Ergebnisse der Wiederholungsschliffe sind im Vergleich zu den Erstschliffen in Abb. 30 dargestellt. Die Gegenüberstellung in Abb. 30 soll einen Eindruck hinsichtlich der Reproduzierbarkeit eines Schleifvorgangs vermitteln. Die Proben wurden marginal abweichend zu den Erstschliffen (80 % r.F./20 °C) in einem Exsikkator bei 86 % r. F. und 20 °C vorkonditioniert. Die Dauer der Probenkonditionierung betrug bei Erst- und Wiederholungsschliff 2 h.



**Abb. 30:** Prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen der Erst- und Wiederholungsschliffe von ausgewählten Proben des Herstellervergleichs, Mittelwerte von 3 KorroPads je Schleifparameter

Bei fast allen Wiederholungsschliffen (Ausnahme I-B, II-B) wurden im Vergleich zu den Erstschliffen deutlich größere prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen ermittelt. Eine gute Reproduzierbarkeit der Schleifversuche lag demnach nicht vor.

Ein signifikanter Unterschied wurde zum einen bei den Probenoberflächen I-A festgestellt. Der prozentuale Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen des Wiederholungsschliffs war um eine Zehnerpotenz größer als der Erstschliff. Der Erstschliff besaß mit 0,02 % Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen ein hervorragendes Ergebnis und eine stabile Passivschicht. Die anderen Erstschliffe mit einlagig gestreutem Korundkorn lagen im Mittel zwischen 0,1 % und 0,26 % Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen (Abb. 25). Der Wiederholungsschliff I-A lag mit einem mittleren Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen von 0,21 % nun in einem ähnlichen Bereich, wie die anderen Korundschliffe des Erstschliffs.

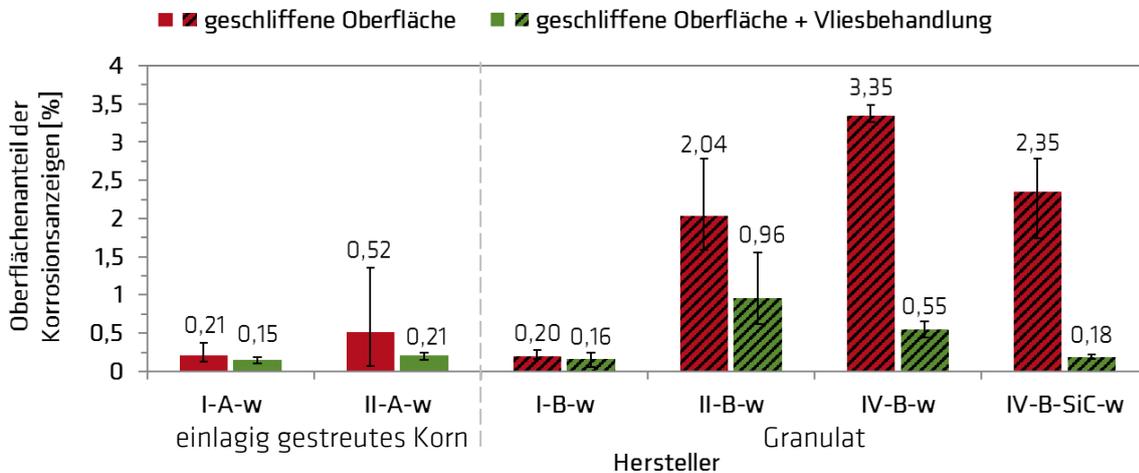
Ein weiterer signifikanter Unterschied war bei IV-B und IV-B-SiC erkennbar. Die Differenz der prozentualen Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen zwischen Erst- und Wiederholungsschliffe betrug rd. 2 %. Hinsichtlich IV-B-SiC war zudem erkennbar, dass der Erstschliff im Vergleich zu den anderen Korund-Granulat-Erstschliffen einen vergleichbaren (I-B) oder deutlich geringeren (II-B, IV-B) prozentualen Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen besaß. Der Wiederholungsschliff von IV-B-SiC hatte jedoch nun wie Korund II-B und IV-B einen prozentualen Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen größer 1 %.

#### 4.4.5 Einfluss Schleifvlies

Mittels einer KorroPad-REM-Korrelationsuntersuchung konnten große Materialaufplattungen aus Eisenmaterial als Ursache für große KorroPad-Anzeigen festgestellt werden. Eine Nachbehandlung mit einem Schleifvlies sollte zeigen, ob eine Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit solcher kritischer Oberflächenzustände mithilfe dieses zusätzlichen Bearbeitungsschritts erreicht werden kann.

Die Untersuchung erfolgte an den Wiederholungsschliffen. Die Hälfte eines jeden Blechs wurde mit einem Schleifvlies bearbeitet. So konnten die geschliffenen und gevlieseten Oberflächen direkt

miteinander verglichen werden. Alle Bleche wurden dann 2 h in einem Exsikkator mit 86 % r. F. vorkonditioniert und anschließend mittels KorroPad geprüft. Die KorroPad-Ergebnisse aller Wiederholungsschliffe, die einer Vliesbehandlung unterzogen wurden, sind in Abb. 31 dargestellt.



**Abb. 31:** Prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen von ausgewählten Proben des Herstellervergleichs vor und nach einer Vliesbehandlung, Mittelwert aus 3 KorroPads je Schleifparameter

Die Mittelwerte in Abb. 31 zeigen, dass die Vliesbehandlung bei allen Probenzuständen zu einer Abnahme des prozentualen Oberflächenanteils der Korrosionsanzeigen führte. Nach der Vliesbehandlung lagen demnach Oberflächen mit einer besseren Korrosionsbeständigkeit vor. Besonders deutlich wurde die Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit bei den Proben II-B-w, IV-B-w und IV-B-SiC-w. Die KorroPad-Ergebnisse der geschliffenen Oberflächen erreichten prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen größer 1 %. Nach der Vliesbehandlung hatten sich die prozentualen Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen signifikant verringert. Die prozentualen Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen der gevliesten Probenzustände IV-B-w und IV-B-SiC-w lagen deutlich unter 1 %. Bei der gevliesten Probe II-B-w zeigte lediglich ein KorroPad einen höheren prozentualen Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen von 1,55 % an. Die anderen zwei KorroPads lagen mit rd. 0,6 % und rd. 0,7 % Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen ebenfalls deutlich unter 1 %.

#### 4.5 Ergebnisse Salzsprühnebelprüfung

Die Oberflächen der Proben (Wiederholungsschliffe) zeigten nach der Salzsprühnebelprüfung unterschiedlich stark ausgeprägte Korrosionserscheinungen und wurden nach DIN EN ISO 10289 [6] klassifiziert und Bewertungszahlen zugewiesen. In Abb. 32 sind die Ergebnisse dieser Klassifikation dargestellt. Die geschliffenen Varianten sind dort als rote Balken, die mittels Schleifvlies nachbearbeiteten Oberflächen als dunkelgrüne Balken und der e-polierter Oberflächenzustand als hellgrüner Balken dargestellt.

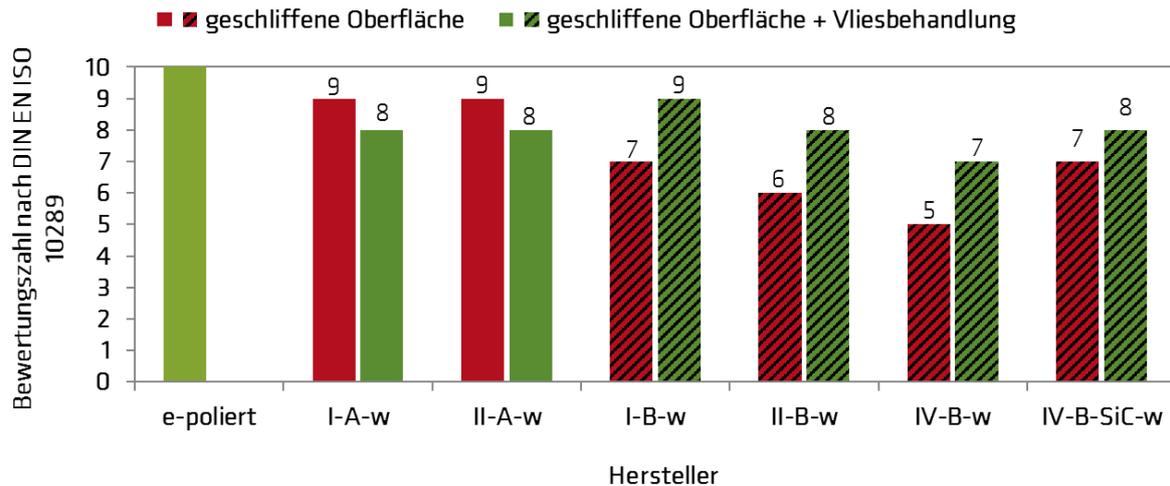


Abb. 32: Bewertungsgrade nach 96 h Salzsprühnebelprüfung

Einzig die elektropolierte Oberfläche war korrosionsfrei, wies keinerlei visuelle Veränderungen auf und erhielt eine Bewertungszahl 10.

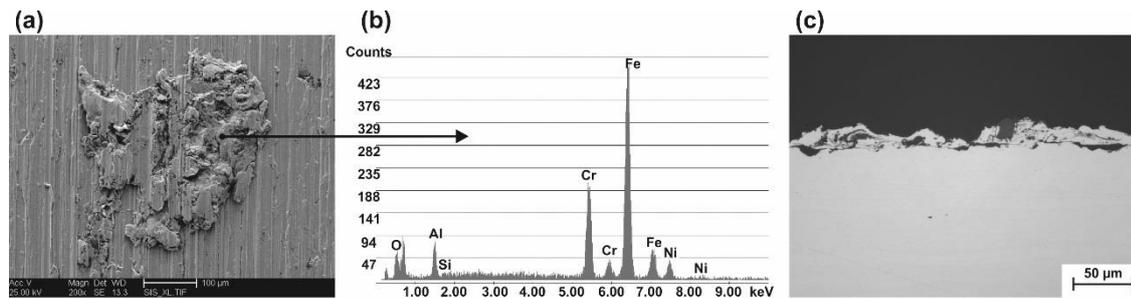
Die einlagig geschliffenen Oberflächen (Varianten mit -A) zeigten lediglich wenige mikroskopisch kleine Pusteln und erhielten Bewertungszahlen von jeweils 9. Durch die Bearbeitung dieser Oberflächen mittels Schleifvlies wurden die mikroskopisch kleinen Pusteln geringfügig größer und hinsichtlich ihrer Anzahl etwas mehr. Daher war eine geringfügige Verschlechterung um einen Bewertungszahl auf je 8 festzustellen.

Bei den Granulatschliffen (Varianten mit -B) waren im Vergleich zu den einlagig geschliffenen Oberflächen schlechtere Bewertungszahlen zuzuweisen, da diese Oberflächen deutlich mehr Korrosionserscheinungen und Verfärbungen aufwiesen. Die Bewertungszahlen lagen zwischen 7 und 5 und es waren hierbei auch Unterschiede im Korrosionszustand der Oberflächen von den verschiedenen Schleifmittelherstellern feststellbar. Die mit SiC Schleifmittel geschliffene Oberfläche zeigte mit einer Bewertungszahl von 7 ebenfalls einige Korrosionsstellen und Verfärbungen. Eine Bearbeitung der mit Granulat geschliffenen Oberflächen mittels Schleifvlies brachte in allen Fällen eine signifikante Verbesserung des Korrosionszustandes um bis zu zwei Bewertungszahlen nach der Salzsprühnebelprüfung.

## 4.6 Ergebnisse Defektanalyse

### 4.6.1 Untersuchung granulatgeschliffener Oberflächen mittels KorroPad und REM

An einem Korund- und SiC-Granulatschliff wurden KorroPad-REM-Korrelationsuntersuchungen durchgeführt, um die Ursache von großen KorroPad-Anzeigen zu ermitteln. Als Ursache von großen KorroPad-Anzeigen konnten große Materialaufplattungen aus Eigenmaterial festgestellt werden. Die Abb. 33 zeigt ein Beispiel einer solchen Eigenmaterialaufplattung.



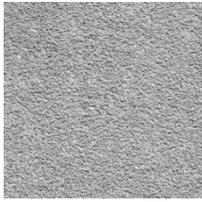
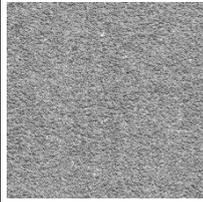
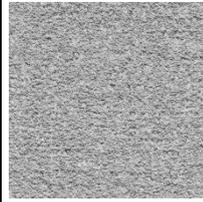
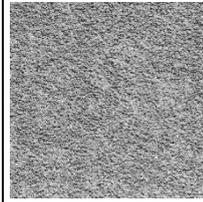
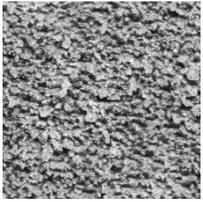
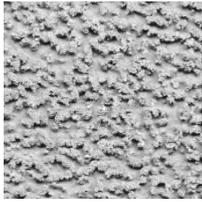
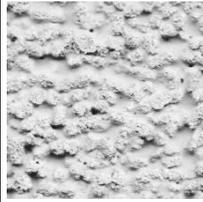
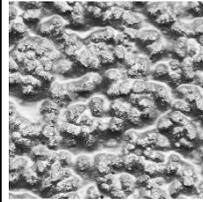
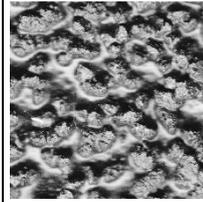
**Abb. 33:** REM-Aufnahme (a) und EDX-Analyse (b) einer Materialaufplattung sowie die ungeätzte Querschnittsfläche von (a) (c) [2]

Die EDX-Analyse der Materialaufplattung zeigte einen Peak bei Eisen, Chrom und Nickel, was nachwies, dass es sich bei der Materialaufplattung um nichtrostenden Stahl und somit Eigenmaterial handelte (Abb. 33b). Die Materialaufplattungen besaßen eine unregelmäßige Topografie und viele Spalte innerhalb und unterhalb der Aufplattung (Abb. 33a, c). Zudem zeigte die metallografische Aufnahme des ungeätzten Querschnitts (Abb. 33c), dass das aufgeplattete Material mit der geschliffenen Oberfläche verschweißt und somit fest verbunden war. Die Materialaufplattungen entstanden während des Schleifprozesses. Das Eigenmaterial wurde dabei im Schleifprozess zunächst abgetragen und aufgrund der Topografie von Granulatschleifbändern (Tab. 22) zeitweise auf den Bändern festgehalten. Später lösten sich diese Materialanhäufungen vom Band ab und konnten prozessbedingt durch Wärme- und Krafteinwirkung auf den bearbeiteten Oberflächen aufgeplattet werden. Das aufgeplattete Material war stark verformt, thermisch beeinflusst und bildete eine Spaltgeometrie zur umgebenden Oberfläche aus. Diese Veränderungen führten zur Störung der Passivschichtausbildung in diesen Bereichen und verursachten damit eine erhöhte Korrosionsanfälligkeit der Oberflächen.

### 4.6.2 Schleifbanduntersuchung

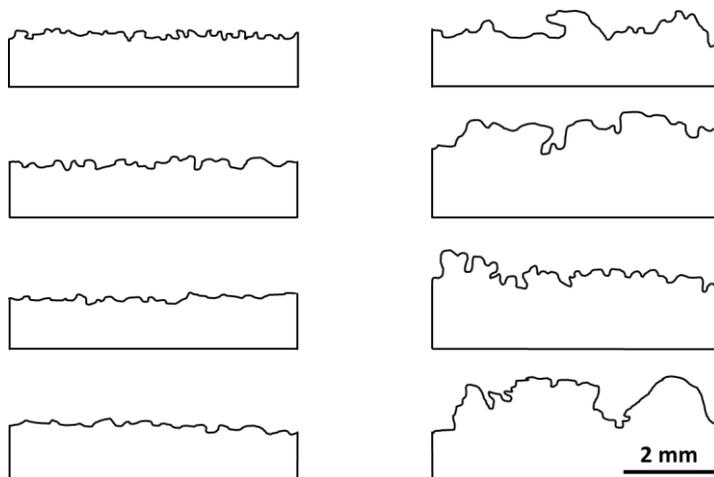
In Kapitel 4.6.1 wurde die Topografie der Granulatschleifbänder als Grund für den zeitweiligen Verbleib von Eigenmaterial im Schleifband aufgeführt. Um diese Aussage zu belegen, wurden Schleifbänder mit Granulat und einlagig gestreutem Korn visuell und mittels REM untersucht. Einen Eindruck von Korundschleifbändern und einem SiC-Schleifband vermitteln die Scans in Tab. 22.

**Tab. 22:** Draufsicht von Korund- und SiC-Schleifbändern mit Korngröße P240 verschiedener Hersteller (Scan), Bildbreite entspricht jeweils 25,7 mm

Schleifband-typ	Korund				SiC
einlagig gestreutes Korn					
Granulat					

Die unterschiedliche Topografie der Schleifbänder mit einlagig gestreutem Korn und Granulat war bereits visuell deutlich erkennbar (Tab. 22). Die Granulatschleifbänder besaßen deutlich hügeligere und unregelmäßigere Schleifbandoberflächen als die Schleifbänder mit einlagig gestreutem Korn.

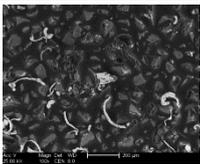
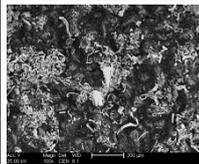
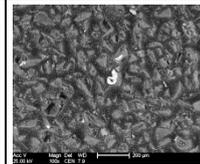
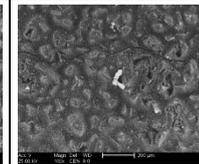
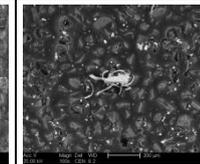
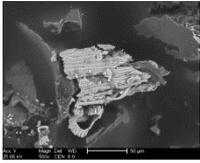
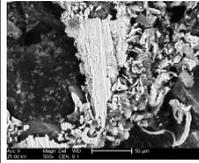
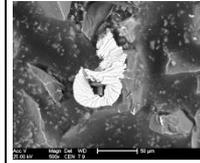
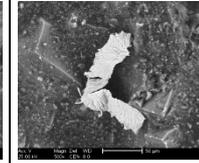
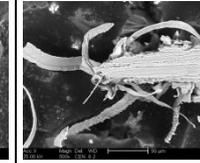
Dieser visuelle Eindruck wurde durch die Profillinien der Schleifbänder bestätigt. Die Abb. 34 zeigt Profillinien, die anhand von Querschnittsaufnahmen von Bändern mit einlagig gestreutem Korn und Granulat erstellt wurden.

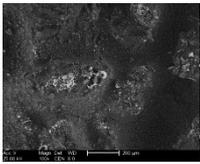
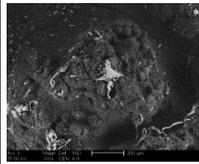
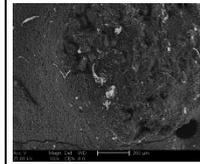
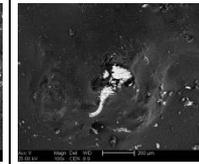
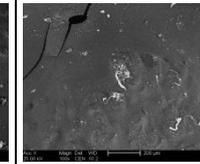
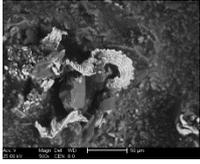
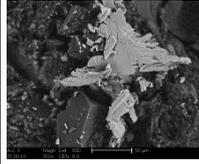
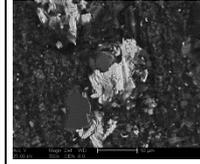
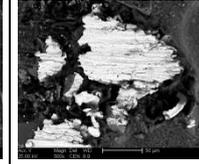
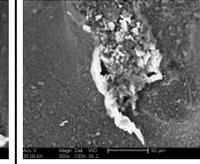


**Abb. 34:** Beispiele von Schleifbandprofilen von Schleifbändern mit einlagig gestreutem Korn (links) und Granulat (rechts)

Die Ergebnisse der REM-Analyse hinsichtlich im Schleifband verbliebener Späne sind in Tab. 23 zusammengefasst.

**Tab. 23:** REM-Aufnahmen von Spänen in Schleifbändern verschiedener Hersteller mit einlagig gestreutem Korn und Granulat

Maßstabslinie	einlagig gestreutes Korn				
	Korund				SiC
200 µm					
50 µm					

Maßstabslinie	Granulat				
	Korund				SiC
200 µm					
50 µm					

Die REM-Aufnahmen der Granulatschleifbänder zeigten, dass Späne auf den Plateaus der Granulate verblieben waren (Tab. 23 Granulat, 200 µm). Die Topografie der Granulatschleifbänder bot auch weitere Bereiche, in denen sich Späne festsetzen und ansammeln konnten. Das Materialgebilde in Tab. 23 Granulat, 50 µm, 2. v. r. hatte bereits Ähnlichkeit mit den Materialaufplattungen, die auf den geschliffenen Oberflächen gefunden wurden.

Bei den Schleifbändern mit einlagig gestreutem Korn wurden ebenfalls Späne gefunden (Tab. 23 einlagig gestreutes Korn). Die Ergebnisse der KorroPad-Prüfungen zeigten jedoch, dass die Topografie der Schleifbänder mit einlagig gestreutem Korn keine kritischen Materialaufplattungen erzeugte.

## 5 Ergebnisse der Relevanzprüfung mit der Stahlgüte 1.4404

### 5.1 Mikroskopische und elektrochemische Charakterisierung des 1.4404

Die am 1.4301 (X5CrNi18-10) ermittelten positiven Auswirkungen auf die Korrosionsbeständigkeit durch den Einsatz eines Schleifvlieses, sollten im Arbeitspaket 4 in Absprache mit dem PA an dem austenitischen nichtrostenden Stahl 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2) verifiziert werden. Für die Relevanzprüfungen wurden an elektropolierten Blechen die Schriffe I-A/B-m, IV-B-m und IV-B-SiC-m erzeugt. Der elektropolierte Ausgangszustand sowie die vier Probenzustände wurden vor der Vliesbehandlung zunächst metallografisch untersucht und mittels elektrochemischer Korrosionsuntersuchungen charakterisiert. Für die elektrochemischen Untersuchungen SPK und EPR-SL sowie der KorroPad-Prüfung kamen Probenzustände zum Einsatz, die zuvor 2 h in einem Exsikkator bei 86 % r. F. vorkonditioniert wurden.

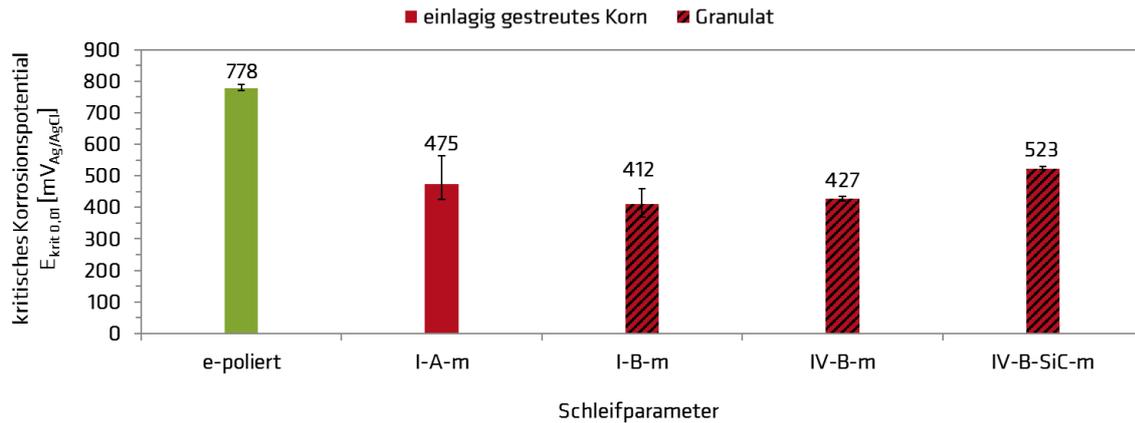
Das Gefüge des 1.4404 wurde zunächst hinsichtlich möglicher Gefügeunregelmäßigkeiten untersucht. Die metallografische Aufnahme eines geätzten Flach-, Quer- und Längsschliffs ist in Abb. 35 abgebildet.



**Abb. 35:** Metallografische Aufnahme am Flachschliff (a), Querschliff (b) und Längsschliff (c), Ätzung mit Königswasser, 500-fache Vergrößerung

Der 1.4404 zeigte ein typisches austenitisches Gefüge. Unregelmäßigkeiten im Gefüge wurden nicht festgestellt.

Die Korrosionsbeständigkeit des elektropolierten Ausgangszustands sowie der vier geschliffenen Probenzustände wurde mittels potentiodynamischer Polarisationsversuche untersucht. Die ermittelten kritischen Korrosionspotentiale  $E_{krit}$  sind in der folgenden Abb. 36 dargestellt.



**Abb. 36:** Kritische Korrosionspotentiale  $E_{krit}$  der Proben aus 1.4404

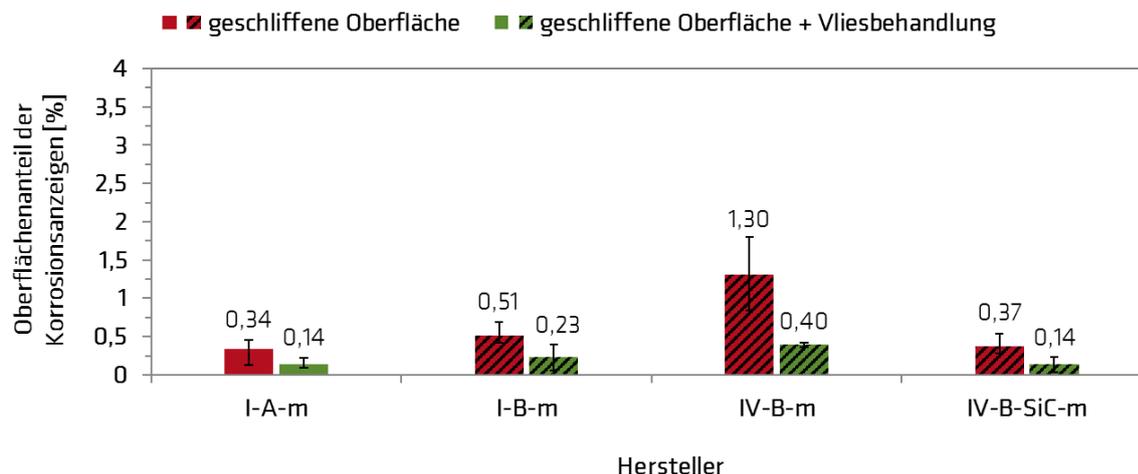
Der elektropolierte Ausgangszustand erreichte das höchste kritische Korrosionspotential und besaß somit von allen untersuchten Proben die höchste Korrosionsbeständigkeit. Die Schleifversuche verursachten eine Abnahme des kritischen Korrosionspotentials und damit eine Abnahme der Korrosionsbeständigkeit.

An den geschliffenen Probenzuständen wurden des Weiteren EPR-SL-Tests durchgeführt. Die beim 1.4301 verwendeten Versuchparameter erzeugten beim 1.4404 keine Reaktivierung. Für eine Differenzierung der Probenzustände hätten die Versuchparameter verschärft werden müssen. Die Untersuchungen mit verschärften Parametern konnten jedoch nicht mehr im Rahmen der Projektlaufzeit durchgeführt werden.

## 5.2 Einfluss Schleifvlies

Eine Nachbehandlung der geschliffenen Oberflächen mittels Schleifvlies sollte zeigen, ob dadurch auch beim 1.4404 kritische Oberflächenzustände verbessert und eine erwartete Korrosionsbeständigkeit wiederhergestellt werden kann. Die Untersuchung erfolgte mittels KorroPad-Prüfung.

Die KorroPad-Ergebnisse der geschliffenen und gevliesten Probenzustände sind in Abb. 37 dargestellt.



**Abb. 37:** Prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen der Proben aus 1.4404 vor und nach einer Vliesbehandlung, Mittelwert aus 3 KorroPads je Schleifparameter

Bei der geschliffenen Probe IV-B-m erschienen große Anzeigen in den KorroPads, die zusammen mit den kleineren Anzeigen im Mittel einen kritischen prozentualen Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen von 1,3 % ergaben. Die übrigen geschliffenen Probenoberflächen lagen mit prozentualen Oberflächenanteilen der Korrosionsanzeigen zwischen rd. 0,1 – 0,7 % weniger korrosionsanfällig vor. Die Vliesbehandlung führte bei allen Probenzuständen zu einer deutlichen Reduzierung des prozentualen Oberflächenanteils der Korrosionsanzeigen. Die KorroPad-Ergebnisse der gevliesten Proben bewegten sich zwischen rd. 0,03 – 0,42 % Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen.

Durch die Vliesbehandlung konnten auch beim 1.4404 kritische Oberflächenzustände bereinigt werden. Die Nachbehandlung mit Schleifvlies führte bei allen Probenzuständen zu einer deutlichen Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit.

Die Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit wurde neben der Entfernung von Materialaufplattungen, ebenfalls durch eine Einebnung der Oberfläche erzielt. Die in Tab. 24 aufgeführten gemittelten Rauheitshöhen  $R_z$  belegen den erfolgten Materialabtrag durch das Vlies. Eine besonders signifikante Reduzierung von  $R_z$  fand bei IV-B-m statt.

**Tab. 24:** Gemittelte Rauheitshöhen Rz der Proben aus 1.4404 vor und nach einer Vliesbehandlung, Mittelwert von 3 Einzelmessungen

Schleifband- typ	Probe	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	
		geschliffene Oberfläche	geschliffene Oberfläche + Nachbehandlung mit Schleifvlies
einlagig ge- streutes Korn	I-A-m	6,9	4,9
Granulat	I-B-m	9,9	4,6
	IV-B-m	17,9	5,3
	IV-B-SiC-m	6,2	5,4

## 6 Diskussion der Ergebnisse

Elektropolierte Proben der Stahlgüte 1.4301 wurden mit verschiedenen Schleifparametern industriell geschliffen, um den Einfluss der einzelnen Schleifparameter auf die Korrosionsbeständigkeit zu untersuchen. Mögliche Ursachen, die in Folge einer Schleifbearbeitung zu einer erhöhten Korrosionsanfälligkeit führen können, wurden zu Beginn des Vorhabens vom PA erarbeitet und sind in Abb. 38 aufgeführt.

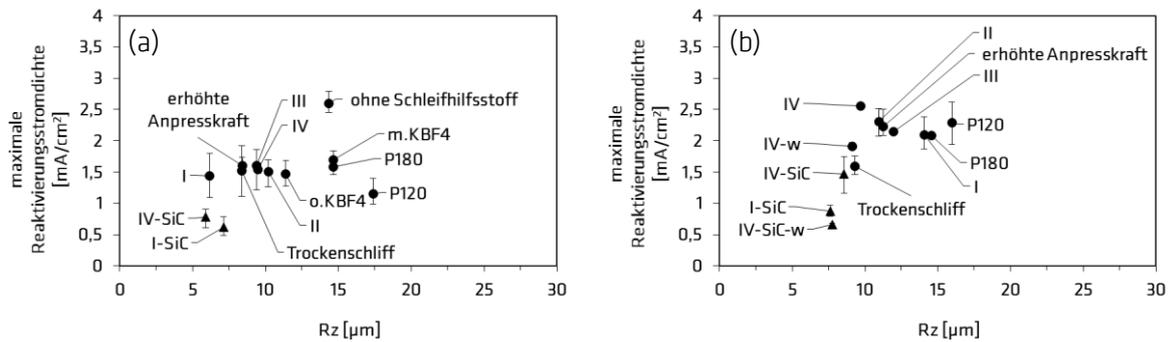


**Abb. 38:** Mögliche Ursachen für eine erhöhte Korrosionsanfälligkeit nach einer Schleifbearbeitung

Die geschliffenen Oberflächen wurden mittels REM hinsichtlich Oberflächenmorphologie, Fremdpartikel und Reaktionsschichten untersucht und analysiert. Alle geschliffenen Oberflächen zeigten Mikrospalte, Verwerfungen und eingepresste Schleifpartikel. Ein hoher Anteil dieser Oberflächendefekte behindert die Ausbildung einer stabilen Passivschicht und erhöht die Korrosionsanfälligkeit in diesen Bereichen. Diese Oberflächendefekte können jedoch nicht die Hauptursache für ein ungewöhnliches und unterschiedliches Korrosionsverhalten sein, da sie auf allen Oberflächen unabhängig vom Schleifversuch ermittelt wurden. Neben den bereits erwähnten Oberflächendefekten, können auch gebildete Reaktionsschichten die Passivschichtausbildung erschweren. Auf den untersuchten Oberflächen wurden jedoch keine Reaktionsschichten in Form von verschmierten Siliziumschichten nachgewiesen, womit diese mögliche Ursache ausgeschlossen werden kann.

Der Einfluss der Oberflächendefekte auf die Passivschichtstabilität wurde des Weiteren mittels EPR-SL-Test und KorroPad untersucht. Je mehr Defekte eine Passivschicht aufgrund von Oberflächendefekten besitzt, desto höhere Reaktivierungspeaks und prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen werden ermittelt. Bei den EPR-SL-Tests konnten die größten Reaktivierungspeaks bei den granulatschliffenen Oberflächen festgestellt werden (Abb. 22, 23). Die Passivschichten dieser Oberflächen besaßen somit die meisten Defekte, die durch das EPR-SL-Verfahren reaktiviert werden konnten. Neben dem Einfluss des Schleifbandtyps ist auch ein Einfluss der Kornart erkennbar. Die mit SiC geschliffenen Oberflächen zeigten in diesen Versuchen in jedem Fall eine bessere Passivschichtstabilität als die mit Korund des gleichen Schleifbandtyps geschliffenen Oberflächen. In diesen Untersuchungen wird damit neben dem bereits festgestellten signifikanten Einfluss des Schleifbandtyps auch ein deutlicher Einfluss der Kornart beobachtet.

Eine Korrelation der Rauheitswerte  $R_z$  mit den EPR-SL-Ergebnissen ist in Abb. 39 dargestellt.



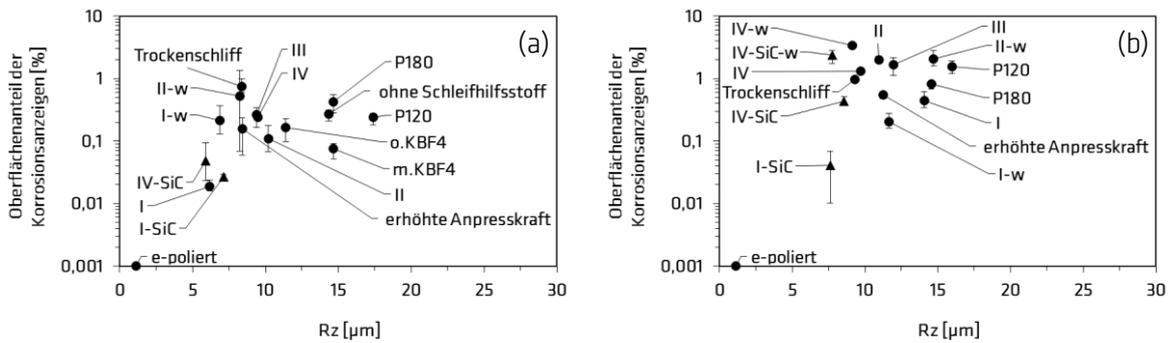
**Abb. 39:** Korrelation der Rauheitswerte Rz mit den maximalen Reaktivierungsstromdichten der Proben, die mit einlagig gestreutem Korn (a) und Granulat (b) geschliffen wurden

Die Abb. 39 zeigt den Einfluss der Oberflächenrauheit auf die Passivschichtstabilität und somit die Korrosionsbeständigkeit. Eine tendenzielle Abhängigkeit der Korrosionsbeständigkeit von der Rauheit ist bei den granulatgeschliffenen Oberflächen erkennbar (Abb. 39b). Die Reaktivierungspeaks der granulatgeschliffenen Oberflächen und damit die Defekte der Passivschicht nahmen bei mehreren Proben mit zunehmendem Rz-Wert zu. Bei den granulatgeschliffenen Oberflächen zeigt sich zudem hinsichtlich der Kornart, dass die höhere Rauheit der Korundschliffe im Vergleich zu den SiC-Schliffen eine Ursache für die größeren Reaktivierungspeaks war. Es gibt jedoch auch Proben, die nicht in den Trend der Rauheitsabhängigkeit passen und trotz ähnlicher oder geringerer Rauheit höhere Reaktivierungspeaks aufweisen. Die Rauheit ist somit nicht der einzige Einflussparameter auf die Korrosionsbeständigkeit.

Das KorroPad detektiert Oberflächenbereiche, die aufgrund einer instabilen Passivschicht anfällig für lokale Korrosion sind. Alle KorroPad-Prüfungen zeigten, dass der Schleifbandtyp der dominierende Einflussfaktor auf die Korrosionsbeständigkeit ist. Das Schleifen mit Granulat hat Oberflächen mit der höchsten Korrosionsanfälligkeit erzeugt, was anhand der höheren prozentualen Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen (Abb. 24, 25) sowie den größeren KorroPad-Indizes (Abb. 26, 27) im Vergleich zum einlagig gestreuten Korn erkennbar ist. Die Proben II bis IV-Granulat hatten sogar prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen größer 1 % (Abb. 25) erreicht und die größten KorroPad-Indizes (Abb. 27). Diese KorroPad-Ergebnisse sind kritisch, da im späteren Einsatz an den Stellen der lokal instabilen Passivschicht das Erscheinen von Verfleckungen wahrscheinlich ist und lokale Korrosion, die zu einem Strukturschaden führen kann, möglich ist. Die KorroPad-Ergebnisse in Abb. 24 zeigen des Weiteren einen Einfluss der Korngröße und von Kühlschmierstoff auf das Korrosionsverhalten. Eine Zunahme der Korngröße hat bei granulatgeschliffenen Oberflächen zu einer Erhöhung der Korrosionsanfälligkeit geführt. Bei den einlagig geschliffenen Oberflächen ist diese Abhängigkeit tendenziell zu erkennen. Der Verzicht von Kühlschmierstoff (Trockenschliff) hat bei beiden Schleifbandtypen zu instabileren Passivschichten geführt und somit zu einer Abnahme der Korrosionsbeständigkeit. Einen weiteren Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit hat die Kornart. Oberflächen, die mit SiC geschliffen wurden, zeigten tendenziell eine höhere Korrosionsbeständigkeit als solche, die mit Korund bearbeitet wurden (Abb. 26, 27). Ausnahmen bildeten der Hauptzustand/I-einlagig gestreutes Korn und IV-SiC-Granulat. Die KorroPad-Ergebnisse des Hauptzustand/I-einlagig gestreutes Korn zeigen zum einen,

dass es auch mit Korund möglich ist Oberflächen mit einer hohen Korrosionsbeständigkeit zu erzeugen. Zum anderen demonstrieren die KorroPad-Ergebnisse von IV-SiC-Granulat, dass auch der Einsatz von SiC zu Oberflächen mit einer höheren Korrosionsanfälligkeit führen kann, wenn mit Granulatschleifband geschliffen wird.

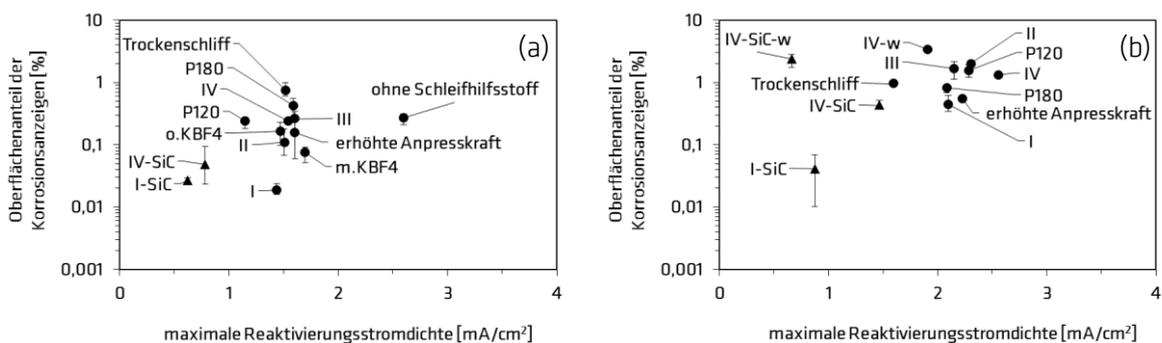
Der Einfluss der Rauheit auf die KorroPad-Ergebnisse ist in Abb. 40 dargestellt.



**Abb. 40:** Korrelation der Rauheitswerte Rz mit den prozentualen Oberflächenanteilen der Korrosionsanzeigen der Proben, die mit einlagig gestreutem Korn (a) und Granulat (b) geschliffen wurden

Eine Abhängigkeit der Korrosionsbeständigkeit von der Rauheit Rz ist bei den granulatgeschliffenen Oberflächen hinsichtlich der Korngröße erkennbar. Die Korrosionsbeständigkeit sank mit zunehmender Korngröße von P240 (I) bis P120 infolge einer zunehmenden Rauheit (Abb. 40b). Eine Rauheitsabhängigkeit der Korrosionsbeständigkeit ist auch bei den Proben I-w, I-SiC und e-polieret zu verzeichnen. Mit abnehmender Rauheit sinkt die Korrosionsanfälligkeit. Die Korrosionsanfälligkeiten der übrigen granulatgeschliffenen Oberflächen lassen sich nicht ausreichend durch die Rauheitswerte erklären. Die Oberflächen hatten niedrigere Rz-Werte als I, aber ähnliche oder höhere prozentuale Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen und damit eine ähnliche oder höhere Korrosionsanfälligkeit. Bei den Oberflächen, die mit einlagig gestreutem Korn geschliffen wurden, ist keine Abhängigkeit von der Rauheit erkennbar.

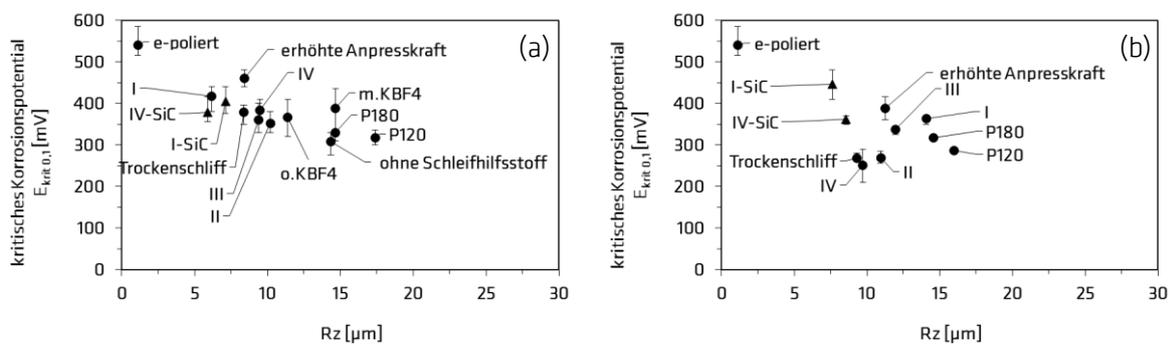
Eine Korrelation der EPR-SL-Ergebnisse mit den KorroPad-Ergebnissen ist in Abb. 41 dargestellt.



**Abb. 41:** Korrelation der EPR-SL-Ergebnisse mit den KorroPad-Ergebnissen der Proben, die mit einlagig gestreutem Korn (a) und Granulat (b) geschliffen wurden

In der Tendenz ist über alle Versuche die Wahrscheinlichkeit höher, dass bei größeren KorroPad Anzeigen auch eine höhere Reaktivierungsstromdichte gemessen wird. Übereinstimmend ist auch das Ergebnis, dass die Granulatschliffe im Vergleich zum einlagig gestreuten Korn tendenziell mehr KorroPad-Anzeigen und höhere Reaktivierungsstromdichten aufweisen. Es gibt jedoch einzelne Serien, bei denen die Ergebnisse beider Methoden widersprüchliche Ergebnisse liefern, wie etwa die Serie I (einlagig gestreutes Korn) und Serie IV-SiC-w (Granulat). Offensichtlich beeinflussen in beiden Prüfverfahren unterschiedliche Effekte das Ergebnis.

Die Stabilität der Passivschicht wurde des Weiteren mittels potentiodynamischer Polarisationsversuche untersucht. Der Einfluss des Rauheitswerts Rz auf das kritische Korrosionspotential ist in Abb. 42 dargestellt.



**Abb. 42:** Korrelation der Rauheitswerte  $R_z$  mit den kritischen Korrosionspotentialen der Proben, die mit einlagig gestreutem Korn (a) und Granulat (b) geschliffen wurden

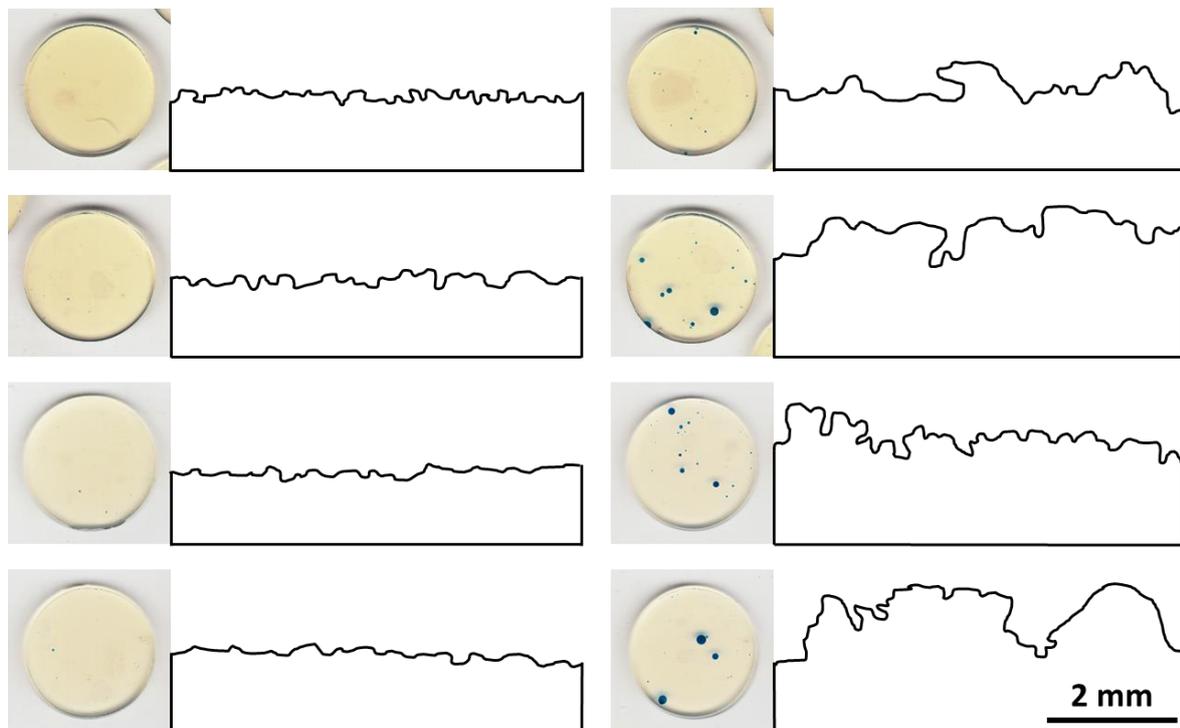
Die Abb. 42 zeigt bei den geschliffenen Oberflächen mit einlagig gestreutem Korn und mit Granulat die Tendenz, dass die Korrosionsbeständigkeit mit zunehmendem  $R_z$ -Wert abnimmt.

Eine weitere Ursache für eine instabile Passivschicht und somit eine erhöhte Korrosionsanfälligkeit können, wie in Abb. 38 aufgeführt, neben Oberflächendefekten auch Anlasseffekte sein. Mittels EPR-DL-Test wurde untersucht, ob die durch den Schleifprozess eingebrachte Wärme zur Sensibilisierung von Oberflächenbereichen geführt hat. Die EPR-DL-Ergebnisse zeigten, dass bei den meisten untersuchten Proben keine Sensibilisierung vorlag und nur bei wenigen Proben eine leichte Sensibilisierung (Tab. 16). Anlasseffekte können somit als Hauptursache des unterschiedlichen Korrosionsverhaltens der verschieden geschliffenen Proben ausgeschlossen werden.

Die Ergebnisse der durchgeführten oberflächenanalytischen und elektrochemischen Untersuchungen sowie der KorroPad-Prüfungen zeigen, dass keiner der in Abb. 38 aufgeführten Oberflächen- bzw. Gefügedefekte die Hauptursache für die unterschiedliche Korrosionsanfälligkeit der geschliffenen Proben war. Zudem hat sich die ursprünglich verfolgte These, dass Unterschiede der Korrosionsanfälligkeit auf die Kornart der Schleifmittel Korund bzw. SiC zurückzuführen ist, nur bedingt bestätigt. Die Ergebnisse zeigen über alle Untersuchungsmethoden jedoch einen signifikanten Einfluss des Schleifbandtyps (Granulat bzw. einlagig gestreutes Korn) auf das Korrosionsverhalten geschliffener Oberflächen. Mit

Granulat geschliffene Oberflächen zeigten regelmäßig eine schlechtere Korrosionsbeständigkeit als Oberflächen, die mit sonst gleichen Parametern mit einlagig gestreuten Bändern bearbeitet wurden. Der Einfluss der Kornart erwies sich demnach im Vergleich zum Einfluss des Schleifbandtyps als weniger relevant. Granulatschleifbänder haben in der industriellen Praxis einen hohen Stellenwert und eine weite Verbreitung. Daher wurde der Fokus auf die Ursachenforschung der höheren Korrosionsanfälligkeit von granulatgeschliffenen Oberflächen gelegt.

Die Ursachenforschung der höheren Korrosionsanfälligkeit von granulatgeschliffenen Oberflächen erfolgte mittels einer KorroPad-REM-Korrelationsuntersuchung. Dafür wurden Oberflächenbereiche mit großen KorroPad-Anzeigen, die sich auf einer mit Korund-Granulat und SiC-Granulat geschliffenen Oberfläche zeigten, im REM näher untersucht. Mittels der REM-Untersuchungen konnten große Materialaufplattungen festgestellt werden, und als Ausgangspunkte für die Korrosionsprozesse identifiziert werden (Abb. 33a, b). Die Elementanalyse im REM zeigte, dass diese Aufplattungen aus Eigenmaterial des Versuchswerkstoffs bestehen. Das Eigenmaterial wird dabei im Schleifprozess zunächst abgetragen und aufgrund der Topografie der Granulatschleifbänder (Tab. 22 Granulat, Abb. 34 Granulat) zeitweise auf den Bändern festgehalten. Die wellige Topografie von Granulatschleifbändern mit vorhandenen Plateaus bietet viele Bereiche, in denen sich Eigenmaterial festsetzen und ansammeln kann (Tab. 23 Granulat). Während des Verbleibs des Eigenmaterials im Schleifband können weitere Verformungen und thermische Beeinflussungen des Materials stattfinden. Später lösen sich die Materialanhäufungen vom Band ab und können prozessbedingt durch Wärme- und Krafteinwirkung auf den bearbeiteten Oberflächen aufgeplattet werden. Durch die Verformung, thermische Beeinflussung und die Ausbildung einer Spaltgeometrie (Abb. 33a, c) der Materialaufplattungen wird die Ausbildung einer stabilen Passivschicht lokal verhindert und führt zu einer höheren Korrosionsanfälligkeit. Die folgende Abb. 43 stellt den Einfluss des Schleifbandtyps sowie der Schleifbandtopografie auf die Korrosionsbeständigkeit nochmals dar.

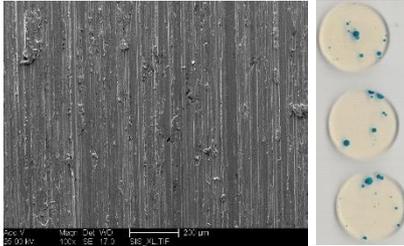
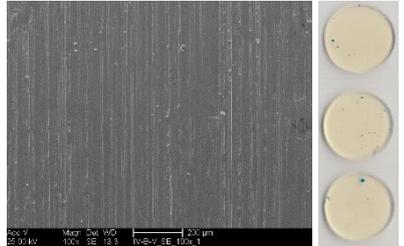
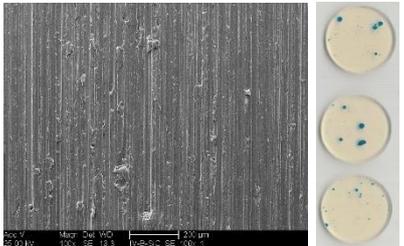
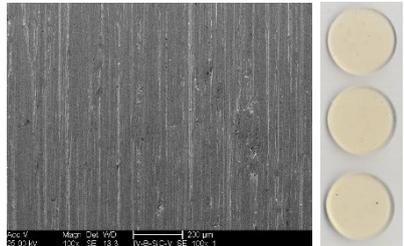


**Abb. 43:** Einfluss von Schleifbandtyp (einlagig gestreutes Korn: links, Granulat: rechts) und Schleifbandtopografien auf KorroPad-Ergebnisse

Die Schleifbandtopografie der einlagig gestreuten Bänder verursachte keine kritischen Korrosionsanzeigen bei der KorroPad-Prüfung (Abb. 43 links). Im Gegensatz zu der Schleifbandtopografie der Granulatschleifbänder. Eine größere Unregelmäßigkeit und Welligkeit der Schleifbandtopografie führte zu kritischen Korrosionsanzeigen (Abb. 43 rechts).

Eine Nachbehandlung mit einem Schleifvlies wurde an Wiederholungsschleifen durchgeführt und sollte zeigen, ob dieser Nachbearbeitungsprozess zu einer Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit von kritischen Oberflächenzuständen führt. Die folgende Tab. 25 fasst zunächst die Ergebnisse der Probenzustände IV-Granulat und IV-SiC-Granulat nochmals zusammen, die mittels oberflächenanalytischer Verfahren, KorroPad und EPR-SL-Test ermittelt wurden.

**Tab. 25:** REM-Aufnahmen, KorroPads, Rauheitskennwerte Rz und EPR-SL-Ergebnisse von IV-Granulat und IV-SiC-Granulat mit und ohne einer Vliesbehandlung

		geschliffene Oberfläche	geschliffene Oberfläche + Nachbehandlung mit Schleifvlies
IV Korund Granulat	REM + KorroPad		
	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	9,1	5,9
	$i_{\text{Reaktivierungspeak}}$ [mA/cm <sup>2</sup> ]	1,91	0,53
IV-SiC Granulat	REM + KorroPad		
	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	7,8	4,6
	$i_{\text{Reaktivierungspeak}}$ [mA/cm <sup>2</sup> ]	0,66	0,19

Die Tab. 25 zeigt, dass die geschliffenen Oberflächen IV-Granulat und IV-SiC-Granulat sehr korrosionsanfällig waren, was die vielen großen KorroPad-Anzeigen verdeutlichen. Nach der Vliesbehandlung lag ein deutlich verbesserter Oberflächenzustand vor. Bis auf eine Ausnahme, traten bei IV-Granulat und IV-SiC-Granulat keine großen Anzeigen mehr im KorroPad auf. Kritische Oberflächendefekte, wie große Materialaufplattungen, wurden demnach mittels der Vliesbehandlung entfernt. Das war auch visuell anhand der REM-Oberflächenaufnahmen zu erkennen. Die geschliffenen Oberflächen sind mithilfe des Vlieses deutlich von Materialaufplattungen und weiterer Schleifartefakte bereinigt worden. Durch die Vliesbehandlung erfolgte zudem eine Einebnung der Oberfläche. Die gemittelten Rauheitshöhen Rz nahmen bei IV-Granulat von 9,1  $\mu\text{m}$  auf 5,9  $\mu\text{m}$  ab und bei IV-SiC-Granulat von 7,8  $\mu\text{m}$  auf 4,6  $\mu\text{m}$ . Der Abtrag der Oberflächendefekte wirkte sich auch hinsichtlich des EPR-SL-Tests positiv aus. Bei den

gevlitesten Oberflächen war eine signifikante Abnahme der Reaktivierungspeaks zu verzeichnen. Die Reaktivierungspeaks reduzierten sich bei IV-Granulat und IV-SiC-Granulat durch die Vliesbehandlung um rd. 2/3. Angesichts der KorroPad- und EPR-SL-Ergebnisse wird deutlich, dass die Vliesbehandlung zu einer deutlichen Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit führte.

Bei den restlichen Wiederholungsschliffen konnte durch die Vliesbehandlung ebenfalls eine deutliche Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit mittels KorroPad festgestellt werden (Abb. 31). Die Vliesbehandlung hatte auch bei diesen Proben eine Einebnung der Oberfläche (Tab. 12) zur Folge.

Die Nachbehandlung mit einem Schleifvlies bestätigte sich auch beim 1.4404 als eine geeignete Maßnahme, um die Korrosionsbeständigkeit geschliffener Oberflächen zu verbessern.

Hinsichtlich des Einflusses der Schleifbänder auf die Korrosionsbeständigkeit, wurde auch der Einfluss von Schleifhilfsstoff auf das Korrosionsverhalten untersucht. Der Verzicht des Schleifhilfsstoffs führte angesichts der EPR-SL-Ergebnisse (Abb. 22) und der KorroPad-Ergebnisse (Abb. 24) zu korrosionsanfälligeren Oberflächen. Die Ergebnisse der Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses von KBF<sub>4</sub> sind in der folgenden Tab. 26 nochmals zusammengefasst.

**Tab. 26:** Mittelwerte von Rauheitskennwerten  $R_z$ , kritischen Potentialen  $E_{krit}$ , Reaktivierungspeaks und KorroPad-Ergebnissen von Oberflächen, die mit Schleifbändern mit und ohne KBF<sub>4</sub> geschliffen wurden

Untersuchung	Kennwert	II-A-180 ohne KBF <sub>4</sub>	II-A-180 mit KBF <sub>4</sub>
		MW	MW
Rauheit	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	11,4	14,7
SPK	$E_{krit\ 0,1}$ [mV]	367	388
EPR-SL	$i_{\text{Reaktivierungspeak}}$ [mA/cm <sup>2</sup> ]	1,47	1,70
KorroPad-Prüfung	prozentualer Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen [%]	0,17	0,08

Die Oberfläche, die „mit KBF<sub>4</sub>“ geschliffen wurde, besaß einen etwas größeren  $R_z$ -Wert als die Oberfläche „ohne KBF<sub>4</sub>“, aber dieser hatte keinen signifikanten negativen Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit, wie die Ergebnisse von SPK, EPR-SL und KorroPad in Tab. 26 zeigen. Bei den EPR-SL-Tests wurde zwar bei der Oberfläche „mit KBF<sub>4</sub>“ im Mittel ein etwas höherer Reaktivierungspeak ermittelt, was eine etwas instabilere Passivschicht anzeigt, jedoch war dieser Unterschied nicht eindeutig, da sich die statistischen Abweichungen überlappten. Angesichts der Ergebnisse in Tab. 26 konnte kein negativer Einfluss des Schleifhilfsstoffs KBF<sub>4</sub> festgestellt werden. Hinsichtlich der KorroPad-Prüfung war sogar ein tendenziell positiver Einfluss erkennbar. Die „mit KBF<sub>4</sub>“ geschliffenen Oberflächen besaßen im Vergleich zu den Oberflächen „ohne KBF<sub>4</sub>“ eine stabile Passivschicht und somit eine höhere Korrosionsbeständigkeit.

Die Abb. 38 der möglichen Ursachen für eine erhöhte Korrosionsanfälligkeit zeigt, dass neben Oberflächendefekten und Anlasseffekten auch die Luftfeuchte, die Dauer der Feuchteeinwirkung und die Benetzbarkeit einen Einfluss auf die Passivierung haben.

Die Benetzbarkeit der geschliffenen Oberflächen wurde mithilfe des Kontaktwinkels eines Wassertropfens auf der Probenoberfläche bewertet. Eine Unterscheidung der verschiedenen Schleifparameter war anhand der ermittelten Kontaktwinkel nicht möglich (Abb. 18).

Der Kontaktwinkel wurde zudem auf Trockenschliffen nach 0 h, 2 h, 24 h und 48 h im Kondenswasserklima (100 % r. F., 40 °C) bestimmt, um den Einfluss einer sich bildenden Passivschicht auf das Benetzungsverhalten zu untersuchen. Eine parallel dazu durchgeführte KorroPad-Prüfung bestätigte die Ausbildung einer stabilen Passivschicht während der Feuchtauslagerung (Abb. 29). Mit zunehmender Feuchtauslagerungszeit wurde die Passivschicht deutlich stabiler. Die größte Veränderung der Passivschichtausbildung erfolgte angesichts der KorroPad-Ergebnisse während der ersten 2 h Feuchtauslagerung. Nach 24 h lag eine stabile Passivschicht vor. Eine Veränderung hinsichtlich des Kontaktwinkels war auch innerhalb der ersten 2 h erkennbar (Abb. 19). Bei der Messung in Schleifrichtung war die Veränderung aufgrund einer großen Streuung nicht eindeutig. Die Untersuchung senkrecht zur Schleifrichtung zeigte, dass die Ausbildung der Passivschicht zu einer schlechteren Benetzbarkeit führte.

Insgesamt lieferten die Untersuchungen hinsichtlich der Benetzbarkeit keine aussagekräftigen Ergebnisse.

Der Einfluss der Luftfeuchte und Feuchtauslagerungszeit auf die Ausbildung einer stabilen Passivschicht wurde an Proben der Parametervariation untersucht, die vor einer Feuchtauslagerung, nach 2 h 80 % r. F. und nach 48 h 100 % r. F. mittels KorroPad geprüft wurden. Der Einfluss der Feuchtauslagerung war signifikant. Nach 48 h Feuchtauslagerung besaßen alle Probenoberflächen eine stabile Passivschicht, selbst Oberflächen, die nach 2 h Feuchtauslagerung noch einen prozentualen Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen um 1 % aufwiesen (Abb. 28).

Ein Vergleich von Wiederholungsschliffen mit Erstschliffen hinsichtlich Rauheit (Tab. 11) und KorroPad-Ergebnisse (Abb. 30) zeigt, dass die Reproduzierbarkeit von Schleifprozessen selbst unter den im Forschungsvorhaben sehr gut dokumentierten und kontrollierten Schleifbedingungen schwierig ist. Bei den KorroPad-Ergebnissen lagen zum Teil signifikante Differenzen vor. Eine prägnante Veränderung der Passivschichtstabilität wurde bei I-A festgestellt. Dieser Schliff mit einlagig gestreutem Korundkorn (Hauptzustand/I-einlagig gestreutes Korn) besaß beim Erstschliff eine stabile Passivschicht. Damit erzielte diese Oberfläche ein ähnliches KorroPad-Ergebnis, wie die mit SiC-einlagig gestreutes Korn geschliffenen Oberflächen (Abb. 25) und bildete eine Ausnahme zu den anderen mit einlagig gestreutem Korundkorn geschliffenen Oberflächen (Abb. 40). Das KorroPad-Ergebnis des Wiederholungsschliffs von I-A fiel signifikant schlechter aus und lag in dem Ergebnisbereich der anderen Oberflächen, die ebenfalls mit einem einlagig gestreuten Korundkorn geschliffen wurden (Abb. 40, I-w einlagig gestreutes Korn). Mit der Rauheit kann das KorroPad-Ergebnis des Wiederholungsschliffs von I-A nicht erklärt werden, denn der Rz-Wert des Wiederholungsschliffs war nur geringfügig höher als der Erstschliff (Tab. 11). Eine Defektanalyse wäre eine Möglichkeit, die Ursachen für die erhöhte Korrosionsanfälligkeit herauszufinden. Diese konnte im Rahmen des Forschungsvorhabens jedoch nicht mehr durchgeführt werden.

Folgende Parameter haben, den hier vorliegenden Ergebnissen zufolge, einen positiven Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit der damit bearbeiteten Oberflächen:

- Schliff mit einlagig gestreutem Korn
- Granulatschliff + Nachbehandlung (z.B. Schleifvlies)
- Granulatschliff + Endschliff mit einlagig gestreutem Korn
- Schliff mit SiC-Bändern
- Feuchtlagerung der Oberflächen nach dem Schleifprozess

## 7 Literatur

- [1] DIN EN 10088-1, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2014.
- [2] S. Reinemann, P. Rosemann, M. Babutzka, J. Lehmann, A. Burkert, Influence of grinding parameters on the corrosion behavior of austenitic stainless steel, *Materials and Corrosion* (Manuskript zur Veröffentlichung akzeptiert am 14.03.2019).
- [3] Krüss Glossar, Kontaktwinkel, <https://www.kruss-scientific.com/de/service/schulung-theorie/glossar/kontaktwinkel>, accessed: 03, 2019.
- [4] ASTM G108 - 94(2010) Standard Test Method for Electrochemical Reactivation (EPR) for Detecting Sensitization of AISI Type 304 and 304L Stainless Steels.
- [5] J. Lehmann, A. Burkert, U.-M. Steinhoff, German Patent Nr. DE 10 2010 037 775, 2014.
- [6] DIN EN ISO 9227: 2012: Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären – Salzsprühnebelprüfungen.
- [7] DIN EN ISO 10289: 2001: Verfahren zur Korrosionsprüfung von metallischen und anderen anorganischen Überzügen auf metallischen Grundwerkstoffen - Bewertung der Proben und Erzeugnisse nach einer Korrosionsprüfung.
- [8] DIN EN ISO 8565: 2011: Metalle und Legierungen - Korrosionsversuche in der Atmosphäre - Allgemeine Anforderungen an Freibewitterungsversuche.

## 8 Gegenüberstellung der Ergebnisse zu den vorgegebenen Zielen

Das Ziel, die Ursachen für eine erhöhte Korrosionsanfälligkeit korundgeschliffener Oberflächen aufzuklären, wurde teilweise erreicht. Mit den Untersuchungen im Projekt konnte ein kritischer Faktor für die Korrosionsanfälligkeit von geschliffenen Oberflächen herausgearbeitet werden. Dabei handelt es sich um Eigenmaterialaufplattungen, die während des Schleifprozesses entstehen. Da Eigenmaterialaufplattungen aber auch bei mit Siliziumkarbidbändern geschliffenen Oberflächen nachgewiesen werden konnten und auch bei diesen zu einer erhöhten Korrosionsanfälligkeit führten, sind sie nicht der kritische Faktor für den vor dem Projekt postulierten Unterschied von korund- und siliziumkarbidgeschliffenen Oberflächen. Werden die Aufplattungen nach dem Schleifprozess entfernt (z. B. durch eine Vliesbearbeitung), zeigt die geschliffene Oberfläche unabhängig von der Schleifkornart wieder ein unkritisches Korrosionsverhalten.

Die ursprünglich verfolgte These, dass Unterschiede der Korrosionsanfälligkeit auf die Kornart der Schleifmittel Korund bzw. Siliziumkarbid zurückzuführen ist, hat sich in den systematischen Untersuchungen während des Vorhabens nur bedingt bestätigt. Der Einfluss der Kornart erwies sich im Vergleich zum Einfluss des Schleifbandtyps (einlagig gestreutes Korn bzw. Granulat) als deutlich weniger relevant. Da Granulatschleifbänder in der industriellen Praxis einen hohen Stellenwert und eine weite Verbreitung haben, wurde der Fokus im zweiten Abschnitt der Projektlaufzeit auf die Ursachenforschung der höheren Korrosionsanfälligkeit von granulatgeschliffenen Oberflächen gelegt.

Eine Festlegung von konkreten Schleifparameterbereichen, die ein unkritisches Schleifen ermöglichen, war angesichts der Ergebnisse und der Neuausrichtung im zweiten Projektabschnitt nicht möglich. Es konnten aber kritische Schleifparameter identifiziert und definiert werden, die zu einer deutlichen Verschlechterung des Korrosionsverhaltens führen.

In dem Fall, dass es nicht möglich ist, durch den Schleifprozess und die Anpassung der Schleifparameter korrosionsbeständige Oberflächen zu generieren, sollten Nachbehandlungsschritte definiert werden. Es konnte nachgewiesen werden, dass durch eine gezielte Nachbehandlung mittels Schleifvlies oder auch Feuchtlagerung in definierten Klimaten die Korrosionsbeständigkeit geschliffener Oberflächen unabhängig vom Schleifprozess verbessert werden kann. Somit werden Verarbeiter nichtrostender Stähle in die Lage versetzt, durch einfache Nacharbeiten korrosionsbeständige, geschliffene Oberflächen zu erzeugen.

## **Publikationen und Vorträge**

### **Referierte Veröffentlichung:**

- 1) S. Reinemann, P. Rosemann, M. Babutzka, J. Lehmann, A. Burkert, Influence of grinding parameters on the corrosion behavior of austenitic stainless steel, Materials and Corrosion (Manuskript zur Veröffentlichung akzeptiert am 14.03.2019).

### **Veröffentlichung in Branchenzeitschrift:**

- 2) J. Lehmann, A. Burkert, S. Reinemann, D. Rother, Forschungsprojekt zum Korrosionsverhalten von Edeltählen - BAM und VSM mit neuen Erkenntnissen, Focus Rostfrei, 2019, 766, S. 30-31.

### **Vorträge:**

- 3) A. Burkert (Vortragender), Optimierung industrieller Korundschleifprozesse zur Sicherstellung der Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle, GfKORR e.V. - Arbeitskreis „Korrosionsuntersuchung und -überwachung“, 27.04.2016, Frankfurt/M.
- 4) M. Babutzka (Vortragender), S. Reinemann, J. Lehmann, A. Burkert, Optimierung industrieller Korundschleifprozesse zur Sicherstellung der Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle, Kursleiterfortbildung 2016 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, 26.09.2016 – 27.09.2016, Berlin.
- 5) S. Reinemann (Vortragende), M. Babutzka, J. Lehmann, A. Burkert, Optimierung industrieller Korundschleifprozesse zur Sicherstellung der Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle, Arbeitskreissitzung des GfKORR e.V. - Arbeitskreis „Korrosionsuntersuchung und -überwachung“, 13.10.2016 – 14.10.2016, Neustadt-Glewe.
- 6) S. Reinemann (Vortragende), M. Babutzka, J. Lehmann, A. Burkert, Optimierung industrieller Korundschleifprozesse zur Sicherstellung der Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle, Arbeitskreissitzung des GfKORR e.V. - Arbeitskreis „Korrosion und Korrosionsschutz von Eisen und Stahl“, 14.12.2016, Duisburg.
- 7) S. Reinemann (Vortragende), M. Babutzka, J. Lehmann, A. Burkert, Optimierung industrieller Korundschleifprozesse zur Sicherstellung der Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle, Jahrestagung 2017 der Forschungsgemeinschaft Schleiftechnik e.V. (FGS), 09.03.2017, Würzburg.
- 8) S. Reinemann (Vortragende), J. Lehmann, A. Burkert, M. Babutzka, Optimierung industrieller Korundschleifprozesse zur Sicherstellung der Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle, Arbeitskreissitzung des GfKORR e.V. - Arbeitskreis „Korrosionsuntersuchung und -überwachung“, 21.11.2017 – 22.11.2017, Magdeburg.
- 9) S. Reinemann (Vortragende), J. Lehmann, A. Burkert, M. Babutzka, Optimierung industrieller Korundschleifprozesse zur Sicherstellung der Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle, Arbeitskreissitzung des GfKORR e.V. - Arbeitskreis „Korrosionsuntersuchung und -überwachung“, 08.10.2018 - 09.10.2018, Berlin.

- 10) A. Burkert (Vortragender), S. Reinemann, P. Rosemann, J. Lehmann, M. Babutzka, Optimierung industrieller Korundschleifprozesse zur Sicherstellung der Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle, Praktiker-Tagung im Metallhandwerk, 14.11.2018, Kaiserslautern.
- 11) T. Müller (Vortragender), S. Reinemann, P. Rosemann, A. Burkert, Optimierung industrieller Korundschleifprozesse zur Sicherstellung der Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle, Ausschusssitzung Marketing der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, 21.11. – 22.11.2018, Düsseldorf.
- 12) P. Rosemann (Vortragender), S. Reinemann, A. Burkert, J. Lehmann, M. Babutzka, Einfluss industrieller Korundschleifprozesse auf die Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle, Arbeitskreissitzung des GfKORR e.V. - Arbeitskreis „Korrosion und Korrosionsschutz von Eisen und Stahl“, 12.12.2018, Duisburg.
- 13) P. Rosemann (Vortragender), S. Reinemann, J. Lehmann, M. Babutzka, A. Burkert, Ursachen korrosionsanfälliger Oberflächen bei geschliffenen nichtrostenden Stählen, MDZ-Forschungsseminar 2019, 12.03.2019, Magdeburg.

**Posterpräsentationen:**

- 14) S. Reinemann (Vortragende), M. Babutzka, J. Lehmann, A. Burkert, Untersuchung des Einflusses industrieller Korundschleifprozesse auf die Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle mittels KorroPads, Jahrestagung 2016 des GfKORR e.V., 15.11.2016 - 16.11.2016, Frankfurt/Main.
- 15) M. Babutzka, S. Reinemann (Vortragende), J. Lehmann, A. Burkert, Influence of corundum grinding processes on the corrosion behaviour of austenitic stainless steels, EUROCORR 2017, 03.09.2017 - 07.09.2017, Prag/Tschechische Republik.
- 16) M. Babutzka (Vortragender), S. Reinemann, J. Lehmann, A. Burkert, Einfluss von Korundschleifprozessen auf die Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle, Jahrestagung 2017 des GfKORR e.V., 07.11.2017 - 08.11.2017, Frankfurt/Main.

## 9 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

### 9.1 Durchgeführte und geplante spezifische Transfermaßnahmen während der Laufzeit des Vorhabens:

Maßnahme A	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Projektbegleitender Ausschuss PA	Die Forschungsergebnisse werden fortlaufend im PA ausführlich diskutiert	A1 Vorstellung des Projektes, Diskussion der geplanten Arbeiten	12.04.2016
		A2 – A4 Vorstellung des Projektstandes und Diskussion zur weiteren Vorgehensweise	10.11.2016 13.06.2017 27.04.2018
		A5 Abschlusspräsentation und Diskussion aller erzielter Ergebnisse	21.- 22.11.2018
Maßnahme B	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Weiterbildung/ Transfer der Projektergebnisse in die Industrie über Fachveranstaltungen	Weiterbildung von Mitarbeitern der kmU ohne eigene Forschungskapazitäten	B1 Vortrag GfKORR – AK-Sitzung	27.04.2016
		B2 Vortrag Kursleiterfortbildung ISER	26.- 27.09.2016
		B3 Vortrag GfKORR – AK-Sitzung	13.- 14.10.2016
		B4 Poster GfKORR-Jahrestagung 2016	15.- 16.11.2016
		B5 Vortrag GfKORR – AK-Sitzung	14.12.2016
		B6 Vortrag FGS-Jahrestagung 2017	09.03.2017
		B7 Poster EUROCORR 2017	03.- 07.09.2017
		B8 Poster GfKORR-Jahrestagung 2017	07.- 08.11.2017
		B9 Vortrag GfKORR – AK-Sitzung	21.- 22.11.2017
		B10 Vortrag GfKORR – AK-Sitzung	08.- 09.10.2018
		B11 Vortrag Praktiker-Tagung im Metallhandwerk	14.11.2018
		B12 Vortrag Ausschusssitzung ISER	21.- 22.11.2018
		B13 Vortrag GfKORR – AK-Sitzung	12.12.2018
		B14 Vortrag GfKORR – AK-Sitzung	12.03.2019
Maßnahme C	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Prozessbegleitende Beratung von kmU	Ergebnistransfer und Erprobung der erarbeiteten Parameterfelder für	C1 Projekttreffen Optimierung Korundschleifen, BAM	23.01.2018

das unkritische Schleifen	C2 Beratung und Ergebnistransfer über bestehenden e-Mail-Verteiler aus Vorläufervorhaben (~150 Metallbauunternehmen)	nicht mehr DSGVO konform
---------------------------	--	--------------------------

Maßnahme D	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Veröffentlichung	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	D1 Veröffentlichung Materials and Corrosion (Manuskript zur Veröffentlichung akzeptiert)	14.03.2019
		D2 Veröffentlichung FocusRostfrei 02/2019 (766)	02/2019

## 9.2 Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit

Maßnahme E	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Weiterbildung/ Transfer der Projektergebnisse in die Industrie über Fachveranstaltungen	Weiterbildung von Mitarbeitern der KMU ohne eigene Forschungskapazitäten	E1 Weiterbildung von Nachwuchs im Trainingscenter für Schleiftechnik der VSM Hannover	Mitte 2019
		E2 Vorträge auf Seminaren der Informationsstelle Edelstahl - Rostfrei	ab April 2019
		E3 Vorträge im Rahmen von Veranstaltungen des GfKORR e.V	ab April 2019

Maßnahme F	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Prozessbegleitende Beratung von kmU	Einführung der erarbeiteten Parameterfelder und -grenzen in den Produktionsprozess	F1 Kompetenzzentren Edelstahl -Rostfrei und interessierte KMU sowie Mitglieder aus dem PA	ab Mitte 2019

Maßnahme G	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Technisches Merkblatt	Ergebnistransfer in die Wirtschaft/Handlungsanweisung	G1 Erstellung eines Technisches Merkblattes für die Informationsstelle Edelstahl - Rostfrei	Mitte 2019

## Förderhinweis und Danksagung

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 18823 N / 1 der Forschungsvereinigung Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V. (GfKORR) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Wir bedanken uns bei allen Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für die aktive Mitarbeit und für die finanzielle und materielle Unterstützung des Vorhabens.