

Schlussbericht

zu dem IGF-Vorhaben

Detektion korrosionsempfindlicher Oberflächen nichtrostender Stähle durch die Verarbeiter

der Forschungsstelle(n)

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Das IGF-Vorhaben 17136 N / 1 der Forschungsvereinigung GfKORR e.V. wurde über die



im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Berlin, 26.11.2014

Ort, Datum

Dr.-Ing. Andreas Burkert

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)
an der/den Forschungsstelle(n)



Schlussbericht

für den Zeitraum 01.09.2011 bis 31.08.2014
zum AiF Forschungsvorhaben 17136 N / 1

mit dem Thema:

Detektion korrosionsempfindlicher Oberflächen nichtrostender Stähle durch die Verarbeiter

FST: BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung
FB 6.1 „Korrosion im Bauwesen“
Unter den Eichen 87
12205 Berlin

Projektleiter: Dr.-Ing. Andreas Burkert

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Annette Burkert
Dipl.-Ing. (FH) Jens Lehmann
Dipl.-Ing. Thoralf Müller
Tatjana Bohlmann

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	1
1 Einleitung.....	2
1.1 Funktionsprinzip des KorroPads	2
2 Untersuchungsmaterialien	4
2.1 Verwendete Werkstoffe und Oberflächenzustände	4
2.2 Prüfmittel	6
2.2.1 Agar Agar.....	6
2.2.2 Mowiol.....	6
3 Durchgeführte Untersuchungen	6
3.1 Mikroskopische Charakterisierung der Oberflächen.....	6
3.2 Elektrochemische Untersuchungen	6
3.3 KorroPad Prüfung.....	8
3.4 Einfluss der Zusammensetzung des KorroPads	9
3.5 Prüfungen unter Temperatureinfluss.....	10
3.6 Feuchtlagerung.....	10
3.7 Salzsprühnebelprüfung.....	11
3.8 Freibewitterung in städtischer und maritimer Atmosphäre.....	11
4 Ergebnisse Werkstoffcharakterisierung.....	13
4.1 Mikroskopische Charakterisierung der Oberflächen.....	13
4.1.1 Geschliffene Oberflächen.....	13
4.1.2 Gestrahlte Oberflächen	17
4.2 Elektrochemische Charakterisierung der Werkstoffe.....	18
5 Ergebnisse KorroPad.....	20
5.1 Zusammensetzung des Prüfmittels.....	20
5.1.1 Einfluss der Indikator- und Aktivatorkonzentration.....	20
5.1.2 Einfluss alternatives Bindemittel.....	24
5.2 Einfluss Werkstoff.....	25
5.3 Einfluss Oberflächenausführung	27
5.3.1 Einfluss Schleifmittel	27
5.3.2 Einfluss Strahlmittel.....	30
5.4 Einfluss Feuchtlagerungsdauer.....	30
5.5 Einfluss der Prüftemperatur	33
5.6 Haltbarkeit	36
5.7 Einfluss Schweißnaht Nachbehandlung.....	39
6 Ergebnisse Salzsprühnebelprüfung	40
6.1 Einfluss Werkstoff und Oberflächenausführung	40
6.2 Einfluss Feuchtlagerungsdauer.....	43

6.3	Einfluss Schweißnahtnachbearbeitung	44
7	Ergebnisse Freibewitterung	45
8	Überführung in die Praxis	46
8.1	Feldversuche	46
8.2	Produktlistung im BAM Webshop.....	50
8.3	Anwendung in weiteren Forschungsvorhaben	51
9	Diskussion der Ergebnisse	52
10	Ausblick	58
	Literatur.....	59
11	Gegenüberstellung der Ergebnisse zu den vorgegebenen Zielen	60
12	Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft.....	65
12.1	Durchgeführte und geplante spezifische Transfermaßnahmen während der Laufzeit des Vorhabens:	65
12.2	Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit.....	67
	Förderhinweis und Danksagung.....	67
	Anlage A1	68
	Anlage A2	69
	Anlage A3	70

Zusammenfassung

In der Metallbaubranche ist Bewertung der Passivschichtqualität eine der Kernfragen, wenn es um die Anwendung nichtrostender Stähle geht. Dabei stehen die Fragen *wann* sich die Passivschicht ausreichend schützend ausgebildet hat ebenso im Raum, wie die Frage *wodurch* sich die Passivschichtausbildung in einem Verarbeitungsprozess positiv beeinflussen lässt. Bislang übliche und bekannte Methoden (z.B. Salzsprühnebelprüfung, elektrochemische Prüfungen) können diese Fragen beantworten, stellen jedoch gerade für kleine und mittelständische Unternehmen eine nicht unerhebliche finanzielle Hürde dar, da für die Durchführung und Bewertung neben der Geräteausstattung entsprechende Spezialisten benötigt werden. Zudem sind diese Prüfungen zerstörend. So wird in diesem Bereich vielfach auf betriebsinterne Erfahrungen und das Prinzip Hoffnung gesetzt, was aufgrund der gehäuft aufgetretenen Schadensfälle der letzten Jahre ein riskantes Unterfangen darstellt.

Vor diesem Hintergrund sind im Rahmen des Forschungsvorhabens umfangreiche, wissenschaftliche und technische Untersuchungen zu den Randbedingungen und Einsatzgrenzen einer neuartigen Prüfmethode -des KorroPads- durchgeführt worden. Weiterhin wurde das KorroPad-Verfahren in einer breit angelegten Feldversuchsstudie von industriellen Anwendern hinsichtlich der Praxistauglichkeit untersucht und letztlich zur Marktreife geführt.

Mit den vorliegenden Untersuchungen konnte die grundsätzliche Eignung des KorroPad Verfahrens zur Beurteilung der Passivschichtstabilität nichtrostender Stähle nachgewiesen werden. Die elektrochemische Wirkungsweise konnte umfassend beschrieben und Grenzen der Anwendbarkeit aufgezeigt werden. Es sind eine große Anzahl an Einflüssen in Parameterstudien gezielt untersucht und mit bekannten Methoden zur Beschreibung der Korrosionsbeständigkeit verifiziert worden. Die Vielzahl der durchgeführten Untersuchungen und auch die Signifikanzprüfung mit bekannten Prüfmethoden (Elektrochemie, Salzsprühnebel) haben gezeigt, dass durch das KorroPad Prüfverfahren die Passivschichtstabilität sehr gut beschrieben werden kann. Dabei sind verschiedene prüf- und werkstoffseitige Parameter zu berücksichtigen, um ein aussagekräftiges Prüfergebnis zu erhalten. Der Feuchtlagerung mechanisch bearbeiteter Oberflächen vor einer KorroPad-Prüfung kommt dabei eine besonders große Bedeutung zu, um eine sichere Differenzierung von korrosionsanfälligen und –beständigen Oberflächen zu gewährleisten. Ebenso sind werkstoffseitige Beständigkeitsgrenzen insbesondere bei niedriger legierten nichtrostenden Stählen vorhanden, denen aber z.B. durch eine Anpassung der Prüfmittelzusammensetzung begegnet werden kann. Als weitere Einflussparameter konnten die Prüftemperatur sowie unterschiedliche Oberflächenzustände beschrieben werden.

Durch den Einsatz des Verfahrens im Bereich Aus- und Weiterbildung wird das Verständnis für den Werkstoff nichtrostender Stahl und die Einflüsse auf die Passivschichtbildung gefördert und somit aktiv Schadensprävention betrieben. Das Verfahren wird daher auch über die Projektlaufzeit hinaus für Ausbildungszwecke kostenfrei zur Verfügung gestellt und somit die Basisarbeit im Korrosionsschutz gestärkt.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

1 Einleitung

Bei vielen Schadensfällen der zurückliegenden Jahre zeigten nichtrostende Stahlkonstruktionen unerwartete Korrosionserscheinungen [1]. Unerwartet deswegen, weil für die entsprechenden Standortbedingungen die korrekte Werkstoffauswahl getroffen wurde und auch Verarbeitungsfehler nicht erkennbar waren. Durch metallographische Untersuchungen konnten verschiedene mikroskopisch kleine und daher mit bloßem Auge nicht erkennbare Oberflächenfehler bzw. Ungenzen nachgewiesen werden, die die Ausbildung einer schützenden Passivschicht behindern und in der Folge bereits bei unkritischen Umgebungsbedingungen zu Korrosionserscheinungen führten. Bei unerwarteten Korrosionserscheinungen wird meist zunächst der Verdacht einer falschen Legierungszusammensetzung geäußert, der sich in der Praxis aber selten bestätigt. Dies haben auch Untersuchungen an der BAM bestätigt, bei denen ein systematischer Zusammenhang zwischen Legierungszusammensetzung und dem hier betrachteten Schadensbild nicht festgestellt werden konnte. Nachlässigkeiten bei der Verarbeitung, der Montage, der Nachbearbeitung oder im Einsatz, die zu korrosionsbegünstigenden Veränderungen an den Oberflächen führen [2], können von dem Problem unerwarteter Korrosionserscheinungen ebenfalls deutlich abgegrenzt werden. Seit einer Häufung derartiger Schadensfälle in den letzten Jahren ist im Markt ein hohes Maß an Unsicherheit vorhanden. Gleichzeitig ist der Bedarf an einer einfachen, schnellen Prüfmethode zur Beschreibung der Passivschichtstabilität gewachsen.

Die Ungewissheit ob sich die Passivschicht ausreichend korrosionsschützend ausbilden kann, beschäftigt viele Verarbeiter nichtrostender Stähle. Gängige Methoden die Passivschichtstabilität zu beschreiben waren bislang häufig Salzsprühnebelversuche und verschiedene elektrochemische Untersuchungsverfahren. Diese Methoden haben eines gemeinsam: sie zerstören die geprüften Materialien. Daneben sind sie mit einem recht hohen Investitionsaufwand und erforderlichem Fachwissen verbunden und dauern mehrere Stunden, Tage oder Wochen. Für den Großteil der Anwender oder Verarbeiter nichtrostender Stähle sind diese Randbedingungen unbefriedigend und eine Prüfung unter praktischen Gesichtspunkten damit nicht realisierbar.

Das KorroPad Verfahren wurde beim Deutschen Patent und Markenamt DPMA unter der **Nr. 10 2010 037 775** patentiert.

1.1 Funktionsprinzip des KorroPads

Nichtrostende Stähle bestehen legierungsseitig zu einem hohen Anteil aus Eisen (z.B. 1.4301 etwa 70%), sowie weiteren hinzulegierten Elementen, die die Eigenschaften des Werkstoffes spezifisch beeinflussen. Chrom ist für die Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle das primär wichtigste Legierungselement. An der Oberfläche nichtrostender Stähle reagiert das unedle Chrom in Anwesenheit von Wasser und Sauerstoff sehr heftig und bildet eine dichte Chromoxidschicht, die Passivschicht aus. Diese Schicht ist nur wenige Atomlagen dünn und demzufolge sehr empfindlich. Bei Beschädigung kann sie sich jedoch neu ausbilden. Dauerhaft kann eine Passivschicht aber nur dann schützen, wenn die Bedingungen für eine Neubildung (Repassivierung) der Schicht gegeben sind, wie z.B. ausrei-

chende O_2 -Konzentration, geringe Cl^- Konzentration und saubere, metallisch blanke Oberflächen.

Ist die Passivschichtausbildung noch nicht erfolgt oder liegen Imperfektionen in der Passivschicht vor, werden Korrosionsprozesse des Eisens an diesen Stellen ermöglicht. Bei diesem Korrosionsprozess gehen infolge der anodischen Teilreaktion Eisenionen in Lösung und genau hier setzt das KorroPad-Prüfverfahren an.

Die Detektion von Eisenionen mittels Kaliumhexacyanoferrat ist seit langem bekannt und wurde in vielen Veröffentlichungen hinlänglich beschrieben [3, 4]. Das in wässriger Lösung gelblich-transparente Kaliumhexacyanoferrat III (rotes Blutlaugensalz) zeigt bei Kontakt zu Eisenionen einen spontanen Farbumschlag zu „Berliner Blau“. Prüfanwendungen mit diesem Indikator wurden bislang als Nachweismethode für ferritischen Verunreinigungen benutzt, der Ferroxytest [4] ist dabei wohl die bekannteste Methode.

Die Wirkungsweise des Kaliumhexacyanoferrats lässt sich hervorragend auf die Problematik einer imperfekten Passivschicht adaptieren. Die lokal in Lösung gehenden Eisenionen können durch den Farbumschlag detektiert werden. Die flüssige Konsistenz einer wässrigen Lösung hat jedoch für die praktische Anwendung auf nichtrostenden Stahloberflächen signifikante Nachteile (z.B. Prüfung von Rohraußenseiten). Aus diesem Grund wurde die Indikatorlösung zu einer gelartigen Konsistenz eingedickt. Die Prinzipskizze in Abb. 1 verdeutlicht die Wirkungsweise des KorroPads.

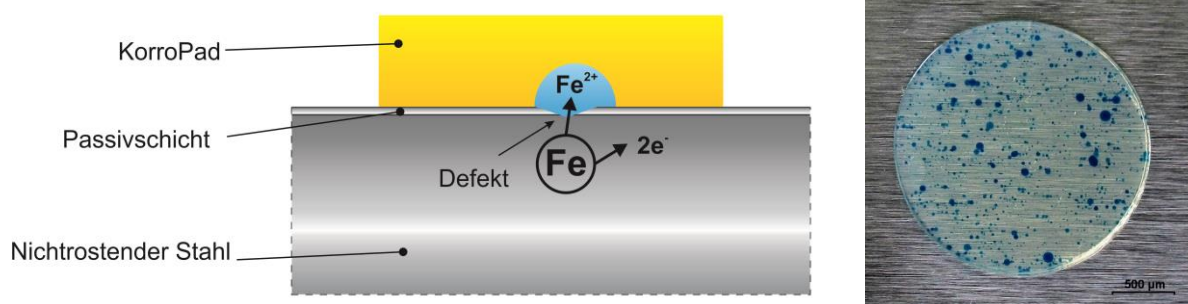


Abb. 1: Prinzipskizze KorroPad Prüfung (l.), praktische Anzeigen auf einer korrosionsanfälligen Oberfläche (r.)

2 Untersuchungsmaterialien

2.1 Verwendete Werkstoffe und Oberflächenzustände

Für die systematischen Untersuchungen wurden handelsübliche Blechmaterialien aus typischen Werkstoffen verwendet. Der Fokus lag auf den in der Praxis am weitesten verbreiteten Werkstoffen 1.4301 (X5CrNi18-10) und 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2). Diese beiden Werkstoffe lagen in 4 bzw. 3 unterschiedliche Chargen vor. In weiterführenden Untersuchungen wurden Bestandsproben aus dem AiF-Vorhaben 16049 N/1 [5] in die Untersuchungen einbezogen. Die chemischen Zusammensetzungen aller verwendeten Materialien sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung der Werkstoffe aus Werkszeugnissen; Angaben in M.-%; (A) Austenit, (F) Ferrit, (D) Duplex; * Bestandsproben aus AiF 16049 N/1 [5]

Werkstoff	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Nb	Ti	N	
1a*	1.4301 (A) X5CrNi18-10	0,034	0,39	1,29	0,029	0,001	18,28	0,24	8,01	0,428	0,013	0,010	0,064
1b		0,038	0,40	1,13	0,027	0,001	18,03		9,03	0,30			0,038
1c		0,030	0,38	1,81	0,030	0,001	18,10		8,10				0,043
1d		0,038	0,54	1,32	0,031	0,002	18,06		8,02				0,059
2a*	1.4404 (A) X2CrNiMo17-12-2	0,019	0,38	0,88	0,035	0,004	16,65	2,02	10,92	0,260	0,010	0,017	0,022
2b	1.4401 (A) X5CrNiMo17-12-2	0,020	0,45	0,97	0,032	0,001	16,59	2,02	10,01				0,055
2c	1.4404 (A) X2CrNiMo17-12-2	0,018	0,47	0,90	0,031	0,001	16,70	2,03	10,05				0,043
3*	1.4003 (F) X2CrNi12	0,020	0,43	1,03	0,020	0,004	11,16		0,43				0,017
4*	1.4162 (D) X2CrMnNiN22-5-2	0,024	0,73	5,06	0,020	0,001	21,42	0,28	1,59	0,340			0,224
5*	1.4062 (D) X2CrNiN22-2	0,022	0,46	1,35	0,025	0,000	22,98	0,22	2,44				0,210
6*	1.4362 (D) X2CrNiN23-4	0,018	0,40	1,47	0,029	0,001	23,32	0,35	4,83	0,240			0,120
7*	1.4509 (F) X2CrTiNb18	0,017	0,53	0,43	0,025	0,002	17,77	0,02	0,17	0,044	0,360	0,146	0,016
8*	1.4521 (F) X2CrMoTi18-2	0,019	0,43	0,28	0,025	0,003	17,50	2,00	0,14	0,057	0,270	0,214	0,016
9*	1.4376 (A) X8CrMnNi19-6-3	0,042	0,38	6,80	0,024	0,004	17,90	0,15	4,29		0,010	0,013	0,200

Zum Einfluss der Oberflächenausführung kamen die gewalzte Lieferoberfläche, unterschiedliche Schiffe sowie gestrahlte Oberflächen zum Einsatz. Eine Übersicht der verwendeten Oberflächenausführungen ist in Tabelle 2 aufgeführt. Es wurden zum einen gezielt Schleifmittel aus dem Vorgängerforschungsvorhaben (IGF 15554 N/1 [6]) verwendet, die nach dem

Schleifprozess Oberflächen hinterließen, die in den dort durchgeführten Korrosionsuntersuchungen als korrosionsanfällig bzw. korrosionsbeständig identifiziert werden konnten. Diese sind in Tab. 2 entsprechend gekennzeichnet. Ergänzt wurden diese durch weitere praxisrelevante Schliifvarianten. Zum anderen wurden unterschiedlich gestrahlte Oberflächen hergestellt. Die Bezeichnungen der Werkstoffe und Oberflächenausführungen wird in den späteren Ergebnisdarstellungen analog zu Tab. 1 und 2 beibehalten.

Tab. 2: Oberflächenausführungen

Oberflächenausführung		Parameter
W	Lieferzustand, kaltgewalzt	Ausgangsoberfläche: 2B
geschliffene Oberflächen		
TS 60 K	Trockenschliff	handgeführter Maschinenschliff, trocken Korn P60 (Eibenstock, Korund)
TS 150 K	Trockenschliff	handgeführter Maschinenschliff, trocken Korn P150 (Eibenstock, Korund)
TS 160 K	Trockenschliff	handgeführter Maschinenschliff, trocken Korn A160 (3M Trizact, Korund), korrosionsbeständig nach [6]
TS 240 K	Trockenschliff	Flachsleifanlage, trocken Korn P240 (VSM, KK779X, Korund)
TS 240 SiC	Trockenschliff	Flachsleifanlage, trocken Korn P240 (VSM, CK772T, Siliziumkarbid)
N 40 Zk*	Nassschliff	Flachsleifanlage mit Emulsion Korn #40, Zirkonkorund (KK715X), korrosionsanfällig [6]
N 180 SiC**	Nassschliff	Flachsleifanlage mit Emulsion Korn P180, Siliziumkarbid (CK772T), korrosionsbeständig [6]
N 240 SiC	Nassschliff	Flachsleifanlage mit Emulsion Korn P240, Siliziumkarbid (CK772T)
N 240 K*	Nassschliff	Flachsleifanlage mit Emulsion Korn P240, Korund (KK779X), korrosionsanfällig [6]
FB	Schleifvlies	3M Finishband, Medium
gestrahlte Oberflächen		
KB 210	Korundbruch gestrahlt	Praktikumsstrahlanlage Korngröße 210µm
GB 315	Glasbruch gestrahlt	Praktikumsstrahlanlage Korngröße 315µm
GP 50	Glasperlen gestrahlt	Praktikumsstrahlanlage Korngröße 50µm
GP 600	Glasperlen gestrahlt	Praktikumsstrahlanlage Korngröße 600µm

2.2 Prüfmittel

2.2.1 Agar Agar

Für die KorroPads wurde das Bindemittel Agar Agar (Polysaccharid) verwendet. Als Matrix diente eine Natriumchloridlösung (Aktivator) in verschiedenen Konzentrationen. Zu dem Bindemittelansatz wurde eine Kaliumhexacyanoferratlösung (Indikator) in verschiedenen Konzentrationen hinzugefügt. Die Konzentrationen sind nachfolgend in den jeweiligen Versuchsbeschreibungen aufgeführt. Die Konsistenz des abgekühlten KorroPads ist geleeartig und gelblich transparent.

2.2.2 Mowiol

In einer Variante wurde das Bindemittel Mowiol (Polyvinylalkohol) eingesetzt. Daraus wurde eine 30%ige Lösung hergestellt. Die Matrix war eine 0,1M Natriumchloridlösung. Zu dieser wurde eine 1,5%ige Kaliumhexacyanoferratlösung zugegeben. Die Konsistenz war dickflüssig, honigartig

3 Durchgeführte Untersuchungen

3.1 Mikroskopische Charakterisierung der Oberflächen

Zur Untersuchung der vorliegenden Oberflächentopographie wurden Untersuchungen mit einem Echtfarben Konfokalmikroskop des Typs Axio CSM 700 der Firma Carl Zeiss an diversen 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, Topographien und Intensitäts- oder Profildaten errechnen. Hierbei wurden die Kennwerte Ra (arithmetischer Mittenrauwert) und Rz (gemittelte Rautiefe) ermittelt.

3.2 Elektrochemische Untersuchungen

Die elektrochemischen Untersuchungen dienen in erster Linie der umfassenden Beschreibung des Korrosionssystems, welches durch die Metalloberfläche und das applizierte KorroPad gebildet wird. Hierzu wurden systematische Untersuchungen in Abhängigkeit der KorroPad-Ingredienzien Kaliumhexacyanoferrat und Natriumchlorid untersucht.

Für die Messung des Redoxpotentials wurden die KorroPads auf eine Platinelektrode aufgelegt und das Potential gegen eine gesättigte Silber/Silberchloridelektrode (Ag/AgCl ges.) gemessen. Diese Referenzelektroden haben ein Potential von +199 mV gegen die Standardwasserstoffelektrode (SHE). Alle Potentialangaben in den Ergebnisdarstellungen beziehen sich auf die Ag/AgCl Bezugselektrode. Zur Sicherstellung der elektrolytischen Ankopplung zwischen Referenzelektrode und KorroPad ist ein chloridfreies, pH-neutrales Elektrolytgel verwendet worden. Die Versuchsanordnung ist in Abb. 2 links dargestellt.

Die Messung der Freien Korrosionspotentiale E_{cor} erfolgte auf den in Tabelle 1 genannten Werkstoffen in den Oberflächenausführungen W (Tab. 2). Die KorroPads wurden dafür auf die Probeoberflächen appliziert und die Referenzelektrode analog zu den Redoxpotentialmessungen mittels Elektrolytgel kontaktiert.

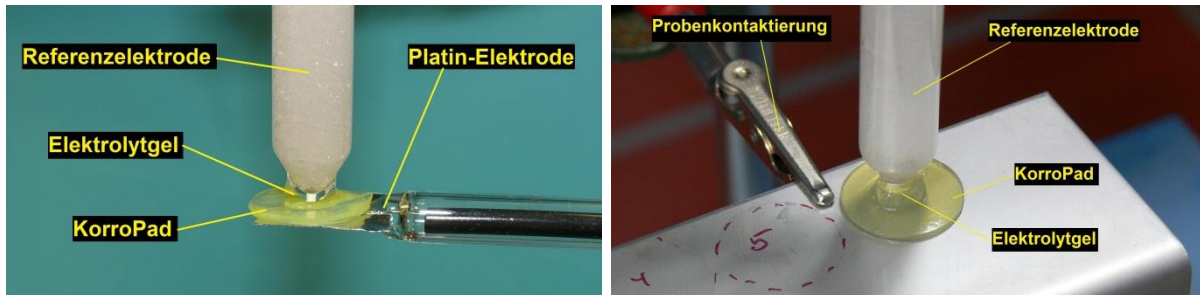


Abb. 2: Versuchsanordnung für die Messung der Redoxpotentiale (links) und der Freien Korrosionspotentiale (rechts)

Für elektrochemische Charakterisierung der verwendeten Werkstoffe wurde als Kennwert das kritische Lochkorrosionspotential E_{krit} in potentiodynamischen Polarisationsmessungen ermittelt. Die dafür verwendete Prüflösung hatte einen pH-Wert 4,5 (bei RT $20\text{ °C} \pm 2\text{ K}$) mit einen Zusatz von 3000 mg Cl^-/l (aus NaCl). Für die potentiodynamischen Untersuchungen kamen ein Mehrfachmessplatz mit vier temperierbaren Messzellen der Fa. Meinsberg und ein Potentiostatensystem der Fa. GAMRY zum Einsatz. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 3 dargestellt.

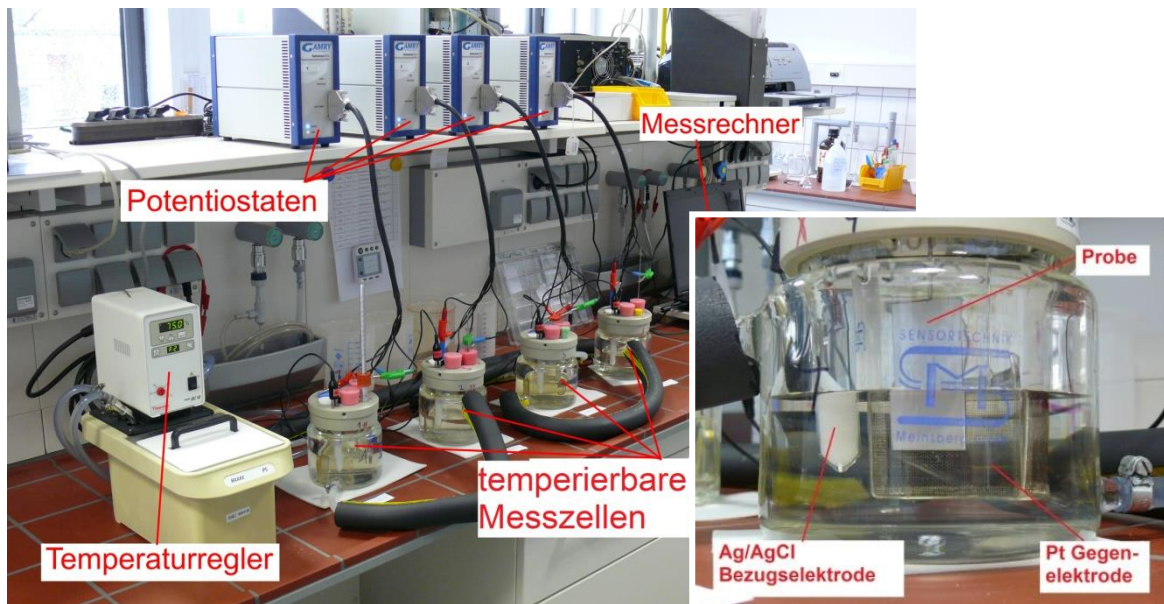


Abb. 3: Versuchsaufbau für die potentiodynamischen Polarisationsmessungen

Die jeweiligen Proben wurden für die Versuche ca. 20 mm tief in die Versuchslösung eingetaucht, die effektive Messfläche betrug somit ca. 10 cm².

Der Potentialvorschub dE/dt bei den potentiodynamischen Polarisationsmessungen betrug 0,2 mV/s ausgehend vom Freien Korrosionspotential E_{cor} in anodische Richtung. Als Auswertekriterium für die Ermittlung der kritischen Lochkorrosionspotentiale E_{krit} wurde die dauerhafte Überschreitung eines Stromdichtewertes von 0,01 mA/cm² herangezogen. Beispielhaft ist dies in Abb. 4 dargestellt.

Die Untersuchungen erfolgten für alle Probenvarianten standardmäßig bei einer Temperatur von 20 °C ± 2 K. Der Temperatureinfluss auf die elektrochemischen Kennwerte wurde ausschließlich an Oberflächenausführung W untersucht.

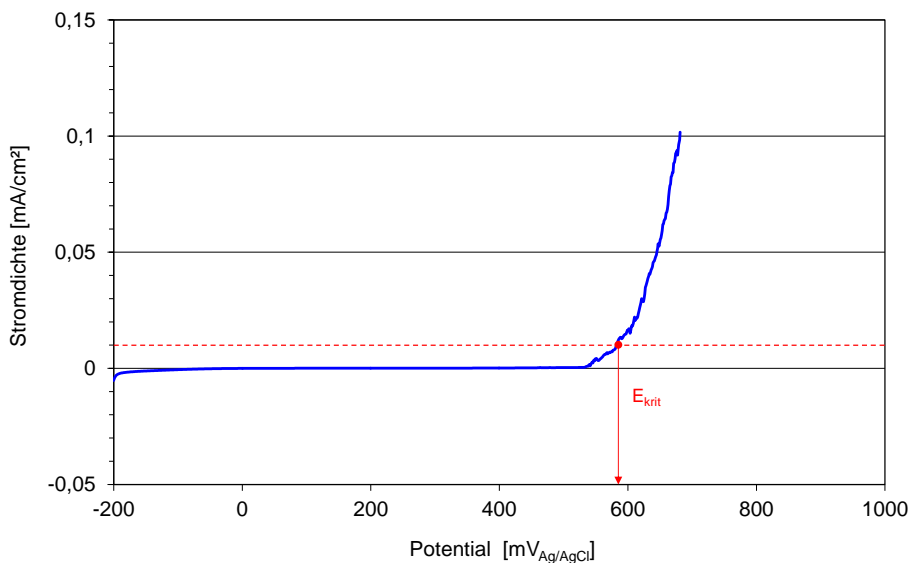


Abb. 4: Ermittlung des kritischen Lochkorrosionspotentials bei einem Stromwert von 0,01 mA/cm² an einer SPK, Werkstoff 1.4401 2b

3.3 KorroPad Prüfung

Vor den KorroPad-Prüfungen wurden die nichtrostenden Stahloberflächen mit Aceton und Ethanol gereinigt und getrocknet. Anschließend sind die KorroPads appliziert und standardmäßig über einen Zeitraum von 15 Minuten beobachtet worden. Nach Ablauf der Prüfzeit wurden die KorroPads mit einem Kunststoffspatel abgelöst und hochauflösend eingescannt. Die prozentualen Oberflächenanteile der blauen Korrosionsanzeigen in den KorroPads sind dann mit einem Bildanalyseverfahren bestimmt worden. Dafür wurden die KorroPads binarisiert, ein Beispiel zeigt Abb. 5. Eine KorroPad-Prüfung bestand jeweils aus mindestens 3 applizierten KorroPads. Der Durchmesser der KorroPads betrug 20 mm, die Prüffläche somit 314 mm².

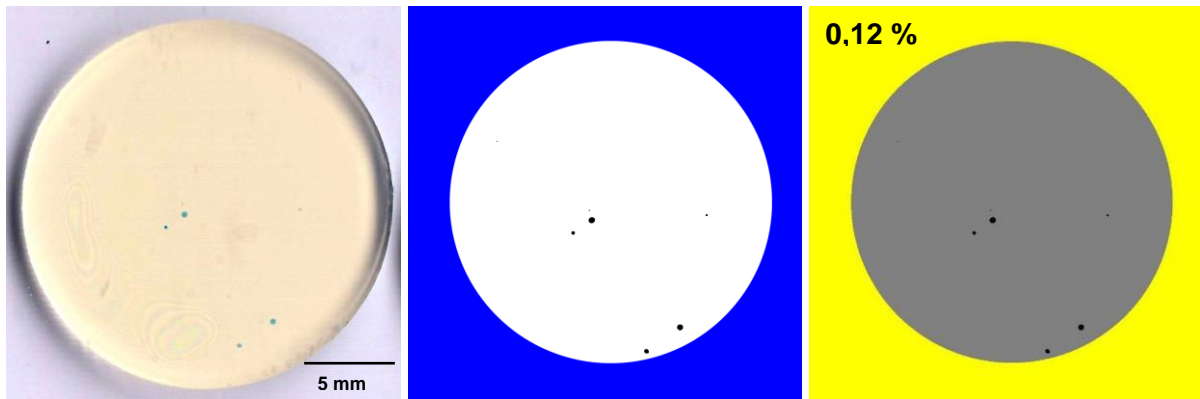


Abb. 5: KorroPad nach Indikatorrest hochaufgelöst eingescannt (links); binarisierte Darstellung (Mitte); Falschfarbendarstellung bei Auswertung mittels Bildanalysesoftware (schwarz: Anzeige von Korrosionsstellen; grau: Bereich ohne Anzeigen; gelb: Hintergrund ohne Bewertung); Bedeckungsgrad ca. 0,12 %

Zur Verdeutlichung der späteren Darstellungen der prozentualen Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen sind in der Abb. 6 typische Anzeigen für verschiedene Wertebereiche abgebildet.

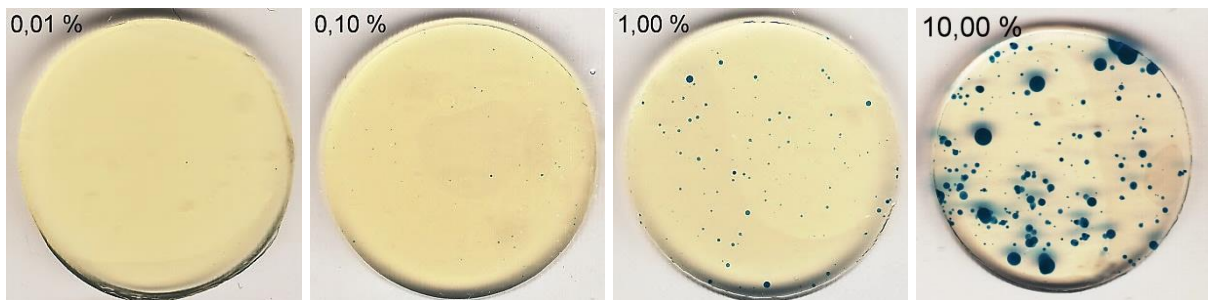


Abb. 6: Beispielhafte Übersicht unterschiedlicher Wertebereiche der prozentualen Oberflächenanteile an Korrosionsanzeigen im KorroPad

Um möglichst gleiche Ausgangsbedingungen bzgl. der Passivschichtausbildung für die Vergleichsuntersuchungen zu schaffen, wurden die nichtrostenden Stahlproben vor den jeweiligen Korrosionsprüfungen standardmäßig für 48 Stunden in einer Klimakammer im Kondenswasserklima bei 40 °C / 100 %rF ausgelagert.

Als Standard für die Untersuchung verschiedener Einflussparameter ist die KorroPad Zusammensetzung 1,5 % Kaliumhexacyanoferrat + 0,1M Natriumchlorid verwendet worden.

Die zur Ermittlung von Einsatzgrenzen des Verfahrens gezielte Variation der angegebenen prüfseitigen Standards ist in den nachfolgenden Absätzen beschrieben.

3.4 Einfluss der Zusammensetzung des KorroPads

Die Wirkung der Konzentration der KorroPad-Ingredienzien Natriumchlorid (Aktivator) und Kaliumhexacyanoferrat III (Indikator) auf die elektrochemischen Eigenschaften und die praktischen Korrosionsanzeigen des KorroPads ist in mehreren Abstufungen untersucht worden.

Dafür kamen die Proben in Oberflächenausführung kaltgewalzt (W) zum Einsatz. In Tabelle 3 sind die Abstufungen der Zusammensetzungen in einer Parametermatrix dargestellt.

Tab. 3: Parametermatrix der untersuchten Zusammensetzungen des KorroPads

Konzentration NaCl [M]	Konzentration Kaliumhexacyanoferrat [%*]				
0	0,10	0,50	1,00	1,50	5,00
0,05M	0,10	0,50	1,00	1,50	5,00
0,1M	0,10	0,50	1,00	1,50	5,00
0,5M	0,10	0,50	1,00	1,50	5,00

* bezogen auf die hinzugegebene Lösung

3.5 Prüfungen unter Temperatureinfluss

Zur Untersuchung des Temperatureinflusses auf das Prüfergebnis des KorroPads wurden sieben verschiedene Temperaturen im Bereich zwischen +5 °C und +70 °C überprüft. Zur Vortemperierung wurden alle nichtrostenden Stahlproben 10 Minuten vor Prüfung bei der jeweiligen Temperatur ausgelagert und die KorroPad-Prüfung danach bei der entsprechenden Prüftemperatur durchgeführt. Die KorroPads waren während der Prüfdauer von 15 Minuten mit einer Kunststoffschale abgedeckt, um eine Austrocknung zu vermeiden. Die Untersuchungen erfolgten an den Werkstoffen 1.4301 (1b) und 1.4401 (2b) mit den Nassschliffvarianten *N 180 SiC* und *N 240 K*.

3.6 Feuchtlagerung

Die Untersuchungen zum Einfluss einer vor der Korrosionsprüfung durchgeführten Feuchtlagerung sind zunächst in den Abstufungen (0, 48 und 144 Stunden) untersucht worden. Dafür kamen die Nassschliffvarianten *N 180 SiC* und *N 240 K* auf den Werkstoffen 1.4301 (1b) und 1.4401 (2b) zum Einsatz. Die bearbeiteten nichtrostenden Stahloberflächen wurden für 0, 48 und 144 Stunden bei 40 °C / 100 %rF in einer Klimakammer ausgelagert. Danach wurde ein Teilbereich jeder Probe einer KorroPad Prüfung unterzogen (Abb. 10).

Eine nähere Überprüfung des Einflusses im Kurzzeitbereich einer Feuchtlagerung wurde gezielt in 16 Abstufungen durchgeführt. Hierfür sind Proben des Werkstoffs 1.4301 (1b) in den zwei Nassschliffvarianten *N 240 SiC* und *N 240 K* ausgewählt worden. Ausgehend von einer Probe ohne Feuchtlagerung, wurde der Verlauf der ersten 8 Stunden engmaschiger untersucht und ab 12 Stunden jeweils die doppelte Stundenanzahl gewählt. Die bearbeiteten nichtrostenden Stahloberflächen wurden bei 40 °C / 100 %rF in einer Klimakammer ausgelagert. Danach wurde ein Teilbereich jeder Probe einer KorroPad Prüfung unterzogen (Abb. 10).

3.7 Salzsprühnebelprüfung

Die Signifikanz der KorroPad Prüfergebnisse wurde in einer Salzsprühkammer des Typs Liebisch SKBW 1000 A-SC mit der konventionellen Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227 [7] überprüft. Dabei wurde der auf den Proben von den KorroPad-Prüfungen unbeeinflusst gebliebene Oberflächenbereich (Abb. 10) nach einer 96 Stunden Salzsprühnebelprüfung bewertet.

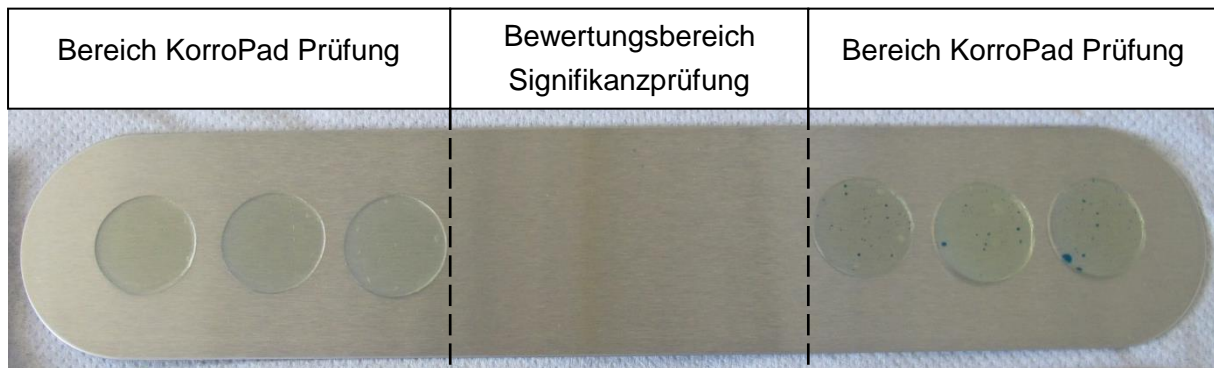


Abb. 10: Bereiche einer Probe für die KorroPad Prüfungen und für die Signifikanzprüfung

Der Oberflächenzustand wurde in Anlehnung an die DIN EN ISO 10289 [8] 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.

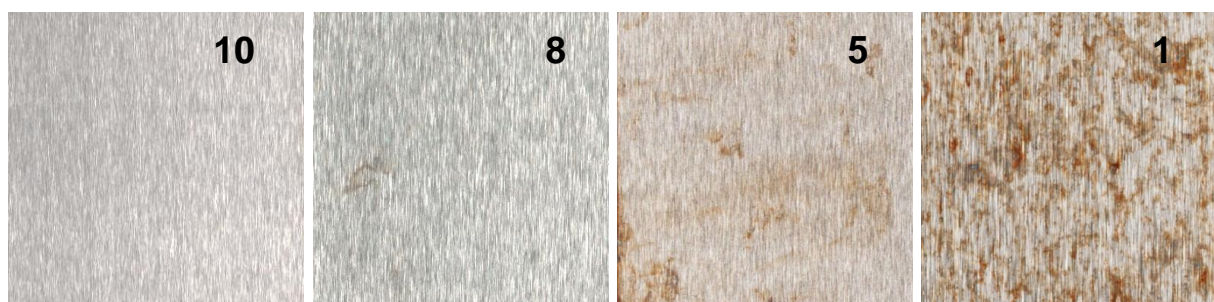


Abb. 11: Übersicht beispielhafter Bewertungsgrade für die Signifikanzprüfung

3.8 Freibewitterung in städtischer und maritimer Atmosphäre

Die Freibewitterungsversuche an Stadtatmosphäre wurden in Anlehnung an die DIN EN ISO 8565 [9] durchgeführt. Hierzu wurden ausgewählte Probenvarianten auf Auslagerungsständen der BAM in Berlin montiert (Abb. 12) und über einen Zeitraum von

12 Monaten ausgelagert. Die Probenoberflächen waren im Winkel von 45° angeordnet und hatten eine Süd/West Ausrichtung und waren frei beregnet.

Für die Freibewitterungsversuche in maritimer Atmosphäre sind ausgewählte Probenvarianten auf Auslagerungsständen auf der Nordsee Insel Helgoland ausgelagert worden (Abb. 12). Die Probenoberflächen waren im Winkel von 45° angeordnet und hatten eine Süd/West Ausrichtung. Die Bewertung erfolgte nach 12 Monaten.

Für beide Atmosphärentypen lagen Ergebnisse für verschiedene Werkstoffe aus dem abgeschlossenen AiF Forschungsvorhaben 16049 N/1 [6] vor (vgl. Abschn.2.1), die für die Signifikanzbewertung herangezogen wurden.

Analog zu den Untersuchungen im Salzsprühnebel (vgl. Abschn. 3.7) wurden die Oberflächenzustände in Anlehnung an [8] ausgewertet.



Abb. 12: Übersicht Auslagerungsstände Stadtatmosphäre (l.) und maritime Atmosphäre (r.)

4 Ergebnisse Werkstoffcharakterisierung

4.1 Mikroskopische Charakterisierung der Oberflächen

Zur Charakterisierung der Oberflächen wurden mikroskopischen Untersuchungen mittels Konfokalmikroskop durchgeführt und typische Oberflächenbereiche hinsichtlich der Rauheitskennwerte (R_a , R_z) sowie der Topografie vermessen. Die abgebildeten Flächen hatten eine Abmessung von ca. $1200 \times 100 \mu\text{m}$.

Die Ausgangsoberfläche für alle Oberflächenvarianten war die Lieferoberfläche (W) in kaltgewalzter 2B Ausführung. Diese hatte mit Rauheitskennwerten $R_a = 0,3 \mu\text{m}$ und $R_z = 2,8 \mu\text{m}$ eine glatte geschlossene Oberfläche. Die Abb. 13 zeigt eine 3D Konfokalmikroskopaufnahme eines typischen Oberflächenbereiches der Oberflächenausführung W.

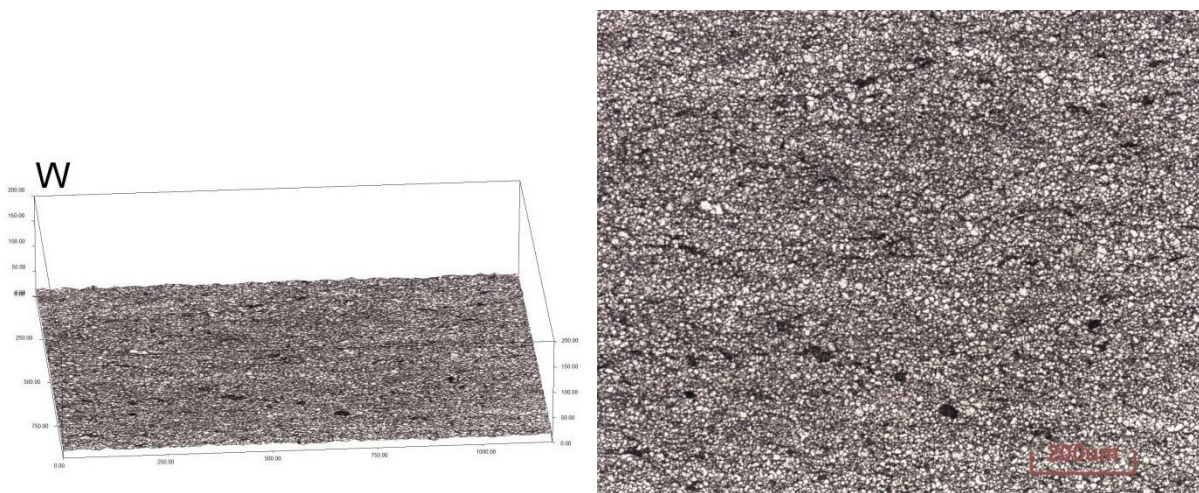


Abb. 13: konfokalmikroskopische Aufnahme Lieferzustand W, Werkstoff 1.4301 (1b); Ausschnitt ca. $1200 \times 1000 \mu\text{m}$

4.1.1 Geschliffene Oberflächen

Die geschliffenen Oberflächen hatten aufgrund des Körnungsspektrums von Korn P40 bis P240 eine entsprechende Spreizung der Rauheitskennwerte zur Folge, was in Abb. 14 erkennbar ist. So konnte für die grob geschliffenen Oberflächen *TS 60 K* und *N 40 Zk* die im Vergleich größten Rauheitskennwerte ermittelt werden, was auch in den Oberflächentopografieaufnahmen (Abb. 15 und 16) deutlich erkennbar ist. Bei feiner werdenden Schleifmittelkörnungen waren dazu erwartungsgemäß signifikant geringere Rauheiten vorhanden. Insbesondere die trocken mit Körnung P240 Siliziumkarbid geschliffene Oberfläche *TS 240 SiC* wies die geringsten Rauheitskennwerte auf. Eine bei gleichen Schleifparametern in derselben Körnung P240 mit Korund geschliffene Oberfläche *TS 240 K* wies zweifach höhere Rauheitskennwerte auf. Auch die Oberflächentopographieaufnahmen lassen für *TS 240 SiC* eine deutlich feinere und homogenere Schließstruktur erkennen.

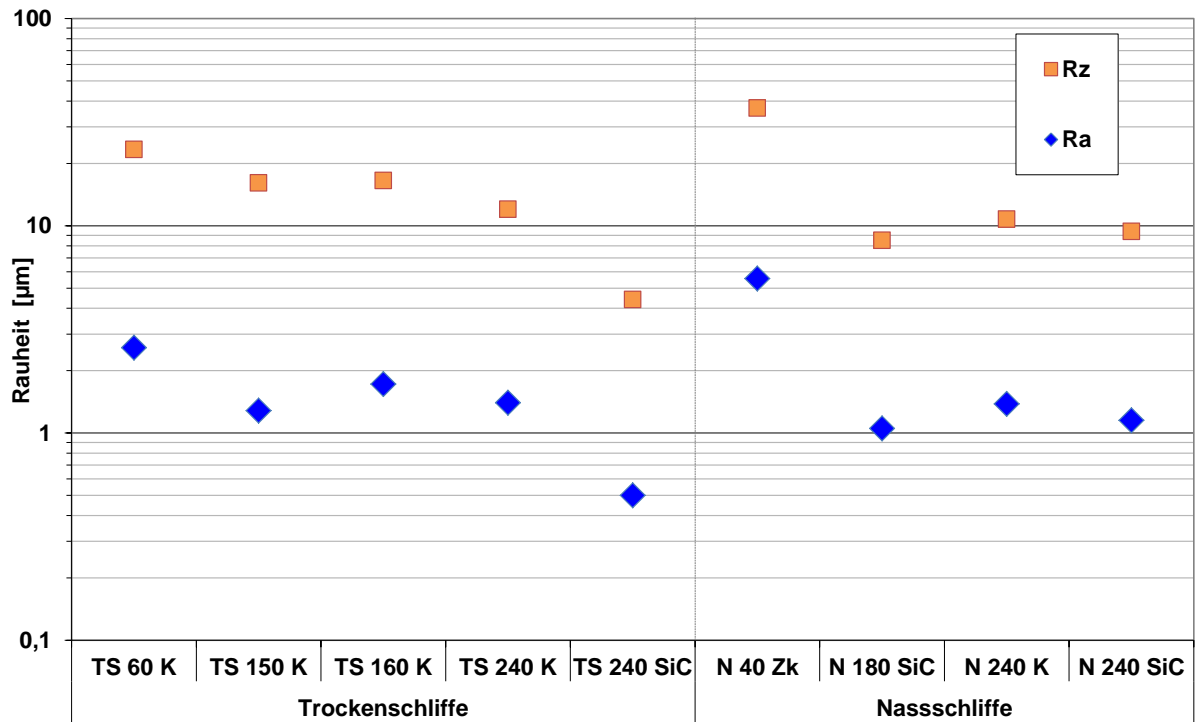


Abb. 14: Rauheitskennwerte Ra und Rz verschiedener Schleifvarianten, Ermittlung mittels Konfokalmikroskop

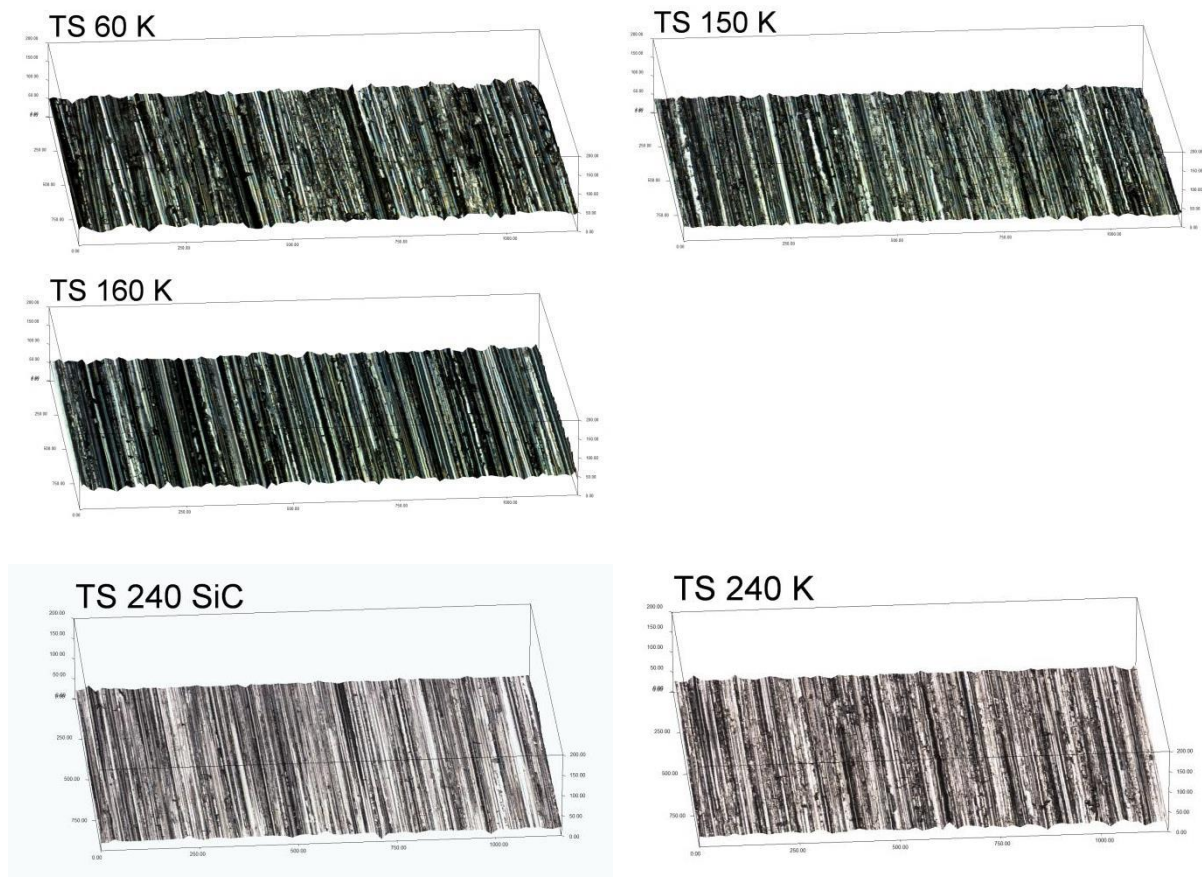


Abb. 15: 3D Darstellung der konfokalmikroskopischen Untersuchungen an Trockenschliffen aus Handmaschinenschliff, Werkstoff 1.4301 (1b), Ausschnitte jeweils ca. 1200 x 1000 µm

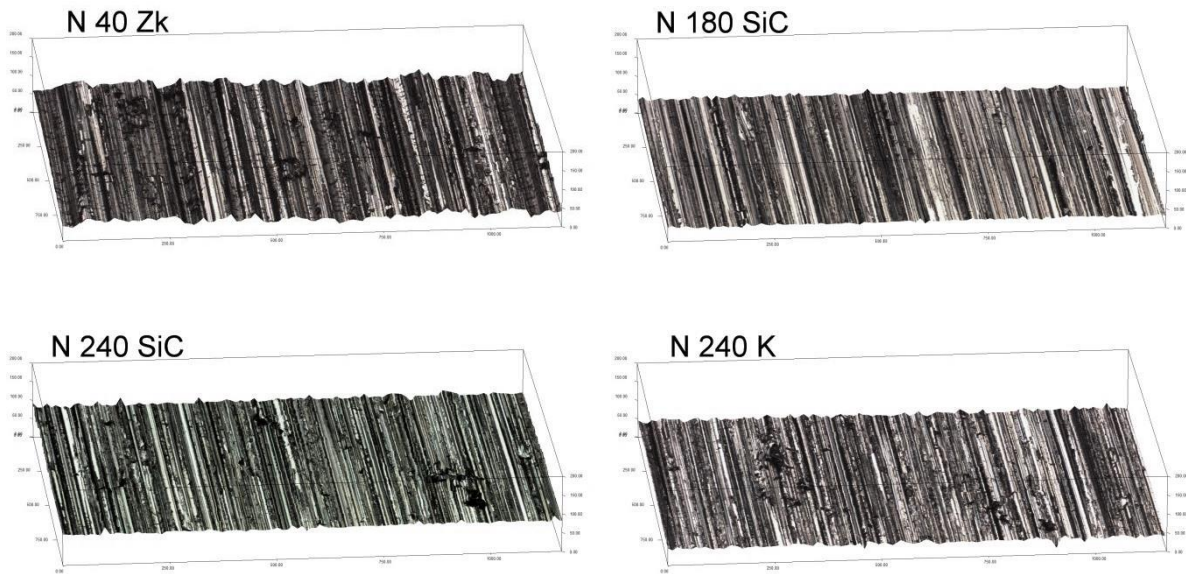


Abb. 16: 3D Darstellung der konfokalmikroskopischen Untersuchungen an Nassschliffen, Werkstoff 1.4301 (1b), Ausschnitt jeweils ca. 1200 x 1000 μm

Eine Endbehandlung mittels Schleifvlies Finishband *FB* konnte die Rauheitskennwerte für alle Schleifvarianten verringern (Abb. 17). Die Verhältnisse der Schliffvarianten untereinander blieben dabei unverändert. Die ausschließliche Behandlung einer Lieferoberfläche *W* mittels Schleifvlies zeigte dabei Rauheitskennwerte von $R_a = 0,9 \mu\text{m}$ und $R_z = 8,0 \mu\text{m}$.

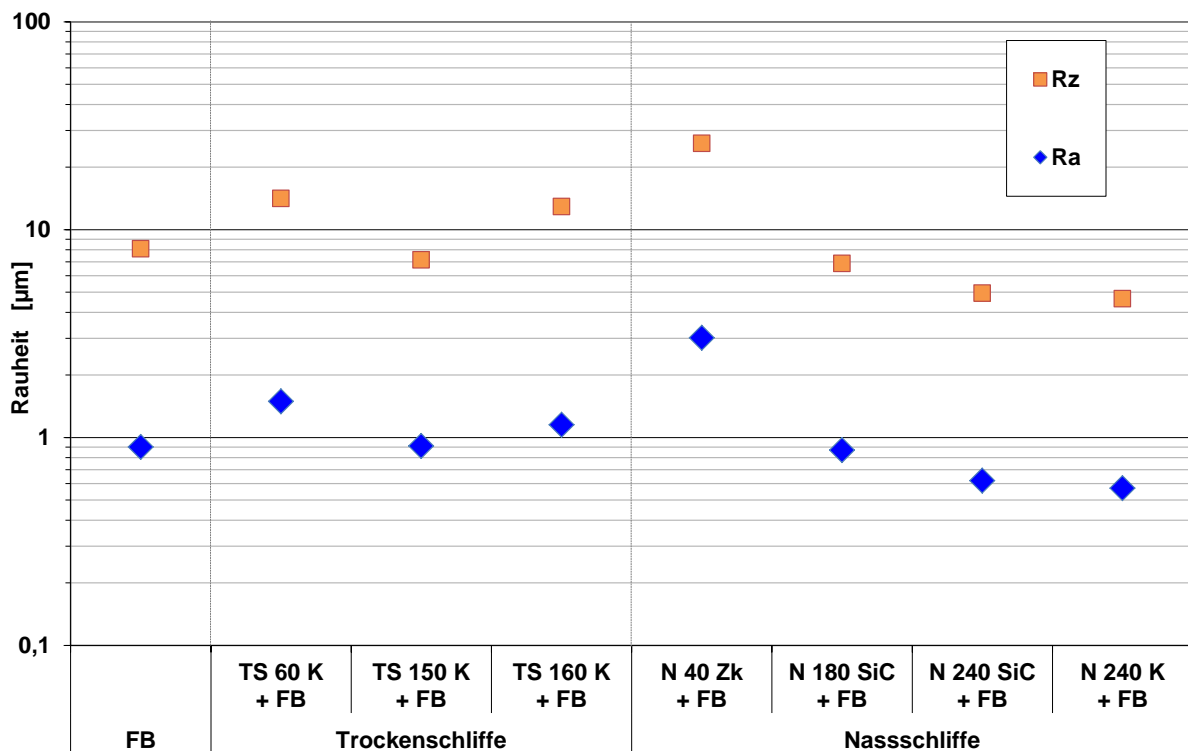


Abb. 17: Rauheitskennwerte R_a und R_z verschiedener Schleifvarianten mit abschließender Schleifvliesbehandlung (*FB*), Ermittlung mittels Konfokalmikroskop

Betrachtet man die Oberflächentopografie der mit Schleifvlies endbehandelten Schliifvarianten fällt auf, dass allgemein eine feinere und homogenere Oberfläche im Vergleich zu den ursprünglichen Schliifvarianten vorhanden ist (Abb. 18). Zum Teil waren die groben Strukturen bei den groben Schleifkörnungen noch sichtbar.

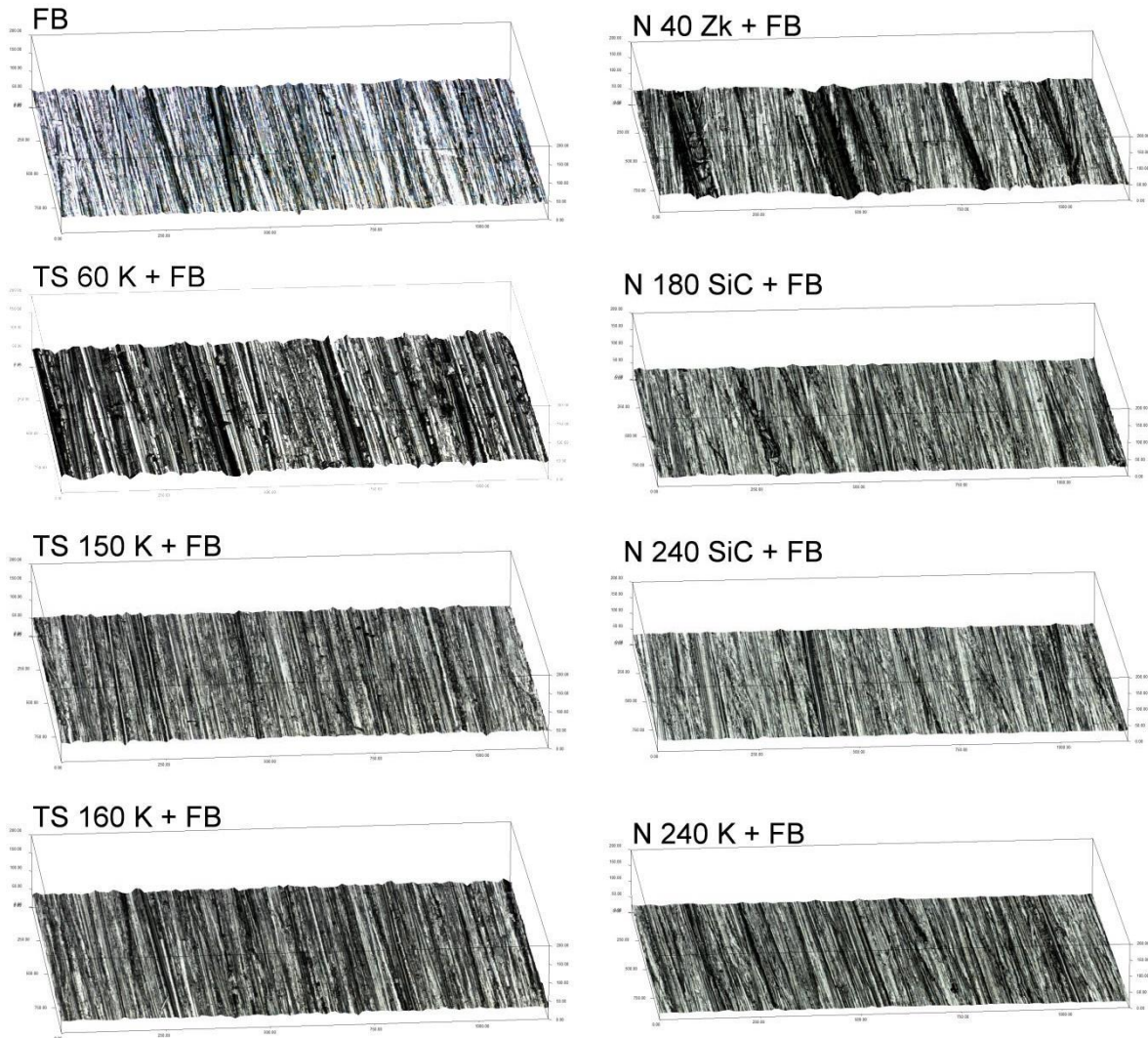


Abb. 18: 3D Darstellung der konfokalmikroskopischen Untersuchungen verschiedener Schliifvarianten mit abschließender Schleifvliesbehandlung (FB), Werkstoff 1.4301 (1b), Ausschnitte jeweils ca. $1200 \times 1000 \mu\text{m}$

4.1.2 Gestrahlte Oberflächen

Nach dem Strahlen mit unterschiedlichen Strahlgutarten und -körnungen konnten die in Abb. 19 zusammengetragenen Rauheitskennwerte ermittelt werden. Die Rauheitskennwerte der Oberflächen hatten dabei überwiegend vergleichbare Größenordnungen. Eine Ausnahme bildete nur die sehr feine Strahlvariante mit Glasperlen $\text{Ø}50\mu\text{m}$ *GP 50*, die signifikant geringere Rauheiten aufwies. In der Tendenz waren für die Glas- und Korundbruch gestrahlten Oberflächen eine etwas größere Rauheit feststellbar. Ein abschließendes Nachstrahlen der drei Strahlvarianten mit groben Glasperlen $\text{Ø}600\mu\text{m}$ *GP 600* vereinheitlichte die Rauheiten auf R_a ca. $1,0\mu\text{m}$ und R_z ca. $8,0\mu\text{m}$.

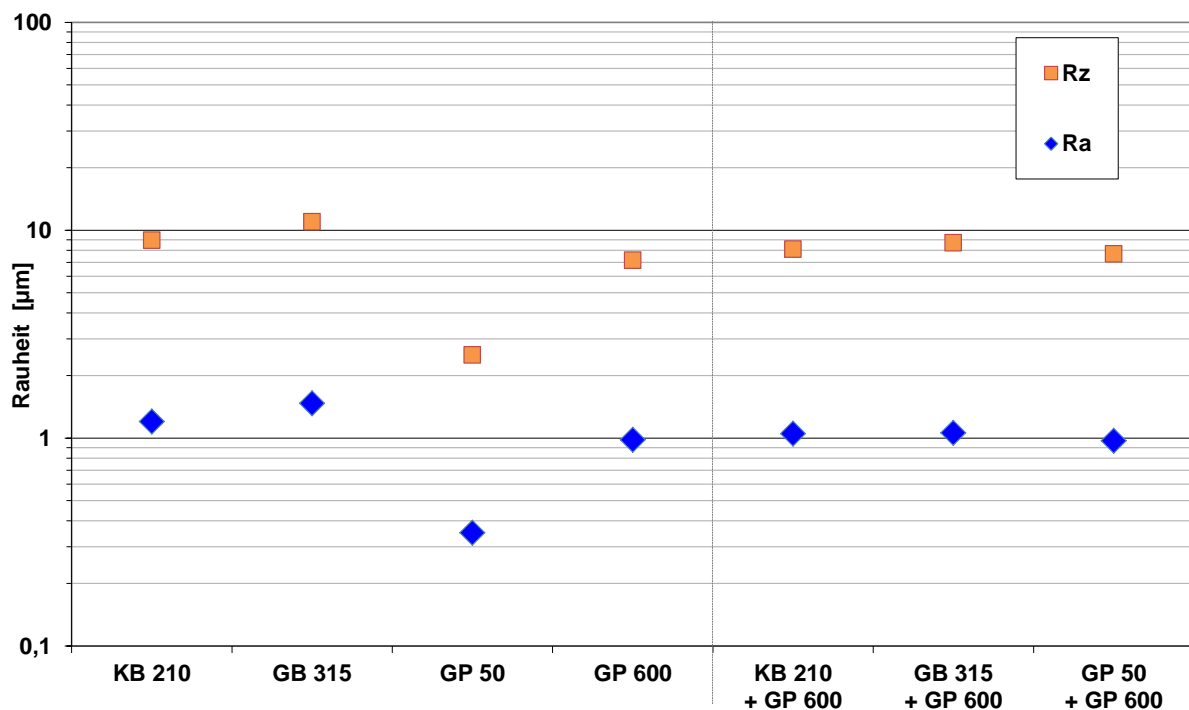


Abb. 19: Rauheitskennwerte R_a und R_z verschiedener Strahlmittel, Ermittlung mittels Konfokalmikroskop

Die Oberflächentopografie der gestrahlten Varianten zeigt signifikante Unterschiede (Abb. 20). So sind die mit Korund- bzw. Glasbruch gestrahlten Oberflächen sehr zerklüftet und weisen viele spitze Strukturen auf. Die Glasperlen gestrahlten Oberflächen hingegen sind homogen und geschlossen. Insbesondere bei der groben Variante *GP 600* sind die Eindrücke der einzelnen Glasperlen deutlich sichtbar.

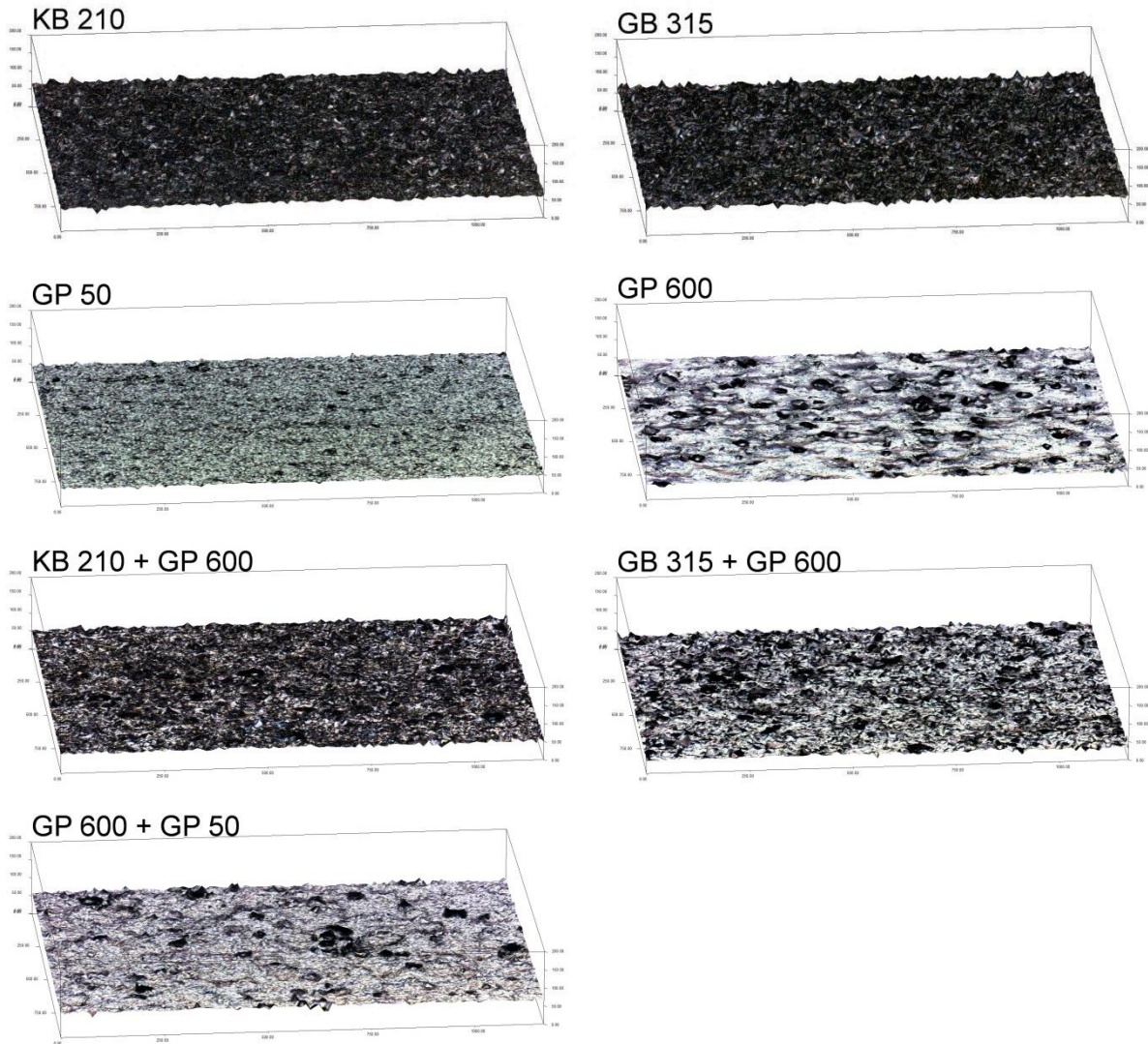


Abb. 20: 3D Darstellung der konfokalmikroskopischen Untersuchungen verschiedener Strahlvarianten, Werkstoff 1.4301 (1b), Ausschnitte jeweils ca. 1200 x 1000 μm

4.2 Elektrochemische Charakterisierung der Werkstoffe

Der für vergleichende Betrachtungen relevante elektrochemische Kennwert des kritischen Korrosionspotentials E_{krit} ist für alle verwendeten Werkstoffe in potentiodynamischen Polarisationsversuchen bestimmt worden. Die Mittelwerte und Streubänder aus jeweils drei Vergleichsmessungen sind in Abb. 21 dargestellt. Für die Bestandswerkstoffe (mit * gekennzeichnet) aus dem abgeschlossenen AiF Vorhaben 16049 N/1 sind die aus den dort bei identischen Versuchsbedingungen ermittelten kritischen Potentiale übernommen worden. Insbesondere die drei Duplexwerkstoffe zeigen hervorragende Werte der kritischen Potentiale. Die Werkstoffe 1.4062 (5*) und 1.4362 (6*) zeigten bis in den transpassiven Bereich keine Lochkorrosion und sind unter den gewählten Versuchsbedingungen vollständig korrosionsbeständig, der Werkstoff 1.4162 (4*) zeigte mit einem E_{krit} von +710 mV eine sehr hohe Korrosionsbeständigkeit. Die kritischen Potentialwerte der vier Chargen des Werkstoffes 1.4301 (1) lagen in einem Bereich zwischen +350 und +520 mV_{Ag/AgCl}. Für die Charge 1b war mit

einem mittleren kritischen Potential von $+500 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$ im Vergleich der positivste Kennwert zu ermitteln. Zwei Chargen des molybdänlegierten Standardaustenits 1.4404 (2a* und 2c) zeigten sehr niedrige kritische Lochkorrosionspotentiale. Sie lagen etwa teilweise noch unterhalb der Werte für den molybdänfreien Standardaustenit 1.4301 (1). Die Charge 2b hingegen lag mit kritischen Potentialwerten um $+600 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$ im Erwartungsbereich für diese Werkstoffklasse. Der Manganaustenit 1.4376 (9*) wies sehr negative E_{krit} auf und lag nur bei Werten vergleichbar mit dem Ferrit 1.4003 (3*). Die ermittelten E_{krit} -Werte des Ferrits 1.4509 (7*) waren mit den Standardausteniten vergleichbar. Für den molybdänlegierten Ferrit 1.4521 (8*) konnten vergleichbare kritischen Lochkorrosionspotentiale wie bei der Werkstoffcharge 2b 1.4401 ermittelt werden.

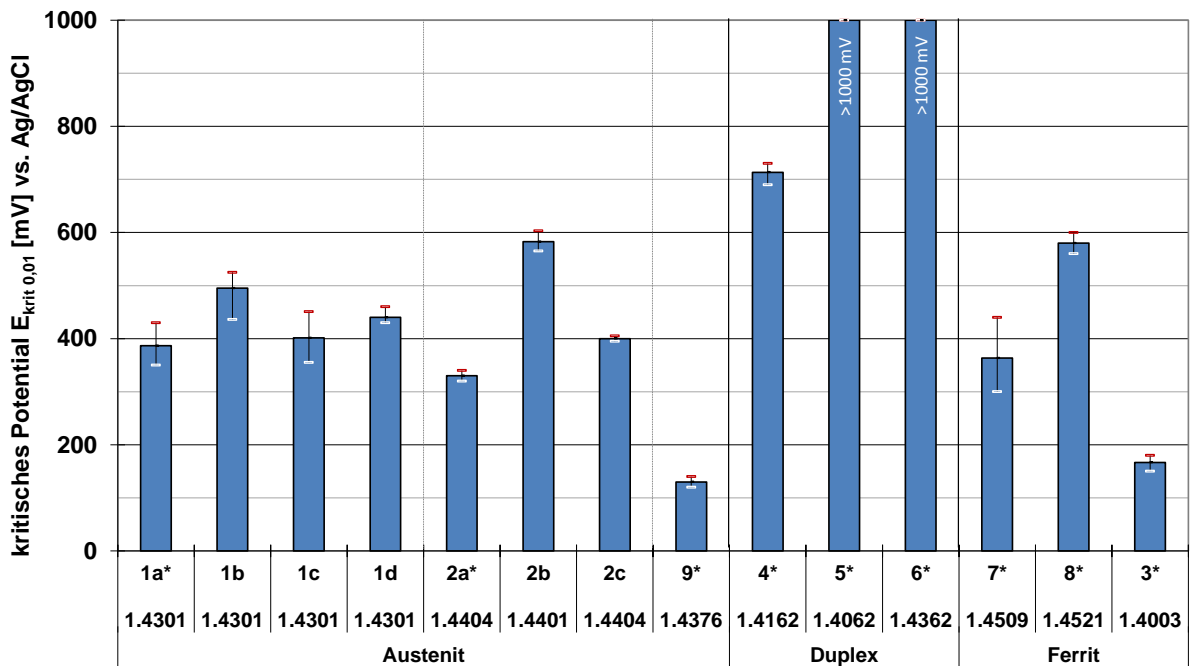


Abb. 21: kritische Lochkorrosionspotentiale $E_{\text{krit } 0,01}$ der verwendeten Werkstoffe; Prüftemperatur $20 \text{ }^\circ\text{C}$; pH 4,5 + 3000 mg Cl-/l; Mittelwerte und Streubänder aus je 3 Einzelmessungen

5 Ergebnisse KorroPad

5.1 Zusammensetzung des Prüfmittels

5.1.1 Einfluss der Indikator- und Aktivatorkonzentration

Der Einfluss der Konzentration des Kaliumhexacyanoferrat (Indikator) auf das Redoxsystem ist in Abb. 22 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass mit steigender Konzentration eine Verschiebung des Redoxpotentials in anodische Richtung erfolgt. Der Einfluss ist im Konzentrationsbereich zwischen 0,1 % bis 1,0 % am größten und wirkt sich bei höheren Konzentrationen nur noch weniger stark aus. Die Lage des Redoxpotentials ist im Wesentlichen von der Konzentration des Kaliumhexacyanoferrat abhängig, weniger von NaCl-Konzentration. Ohne NaCl-Zugabe lagen die Redoxpotentiale der geringsten untersuchten Kaliumhexacyanoferrat-Konzentration 0,1 % bei +170 mV_{Ag/AgCl}. Bei der höchsten untersuchten Kaliumhexacyanoferrat-Konzentration 5,0 % wurden signifikant positivere +300 mV_{Ag/AgCl} gemessen. Auch durch die Zugabe von NaCl wurden die gemessenen Redoxpotentialwerte geringfügig positiver. Dies ist vermutlich auf die Erhöhung der Leitfähigkeit im KorroPad zurückzuführen. Bei der größten untersuchten Zugabemenge von 0,5 M NaCl (und 5,0 % Kaliumhexacyanoferrat) wurde ein Redoxpotential von +350 mV_{Ag/AgCl} gemessen.

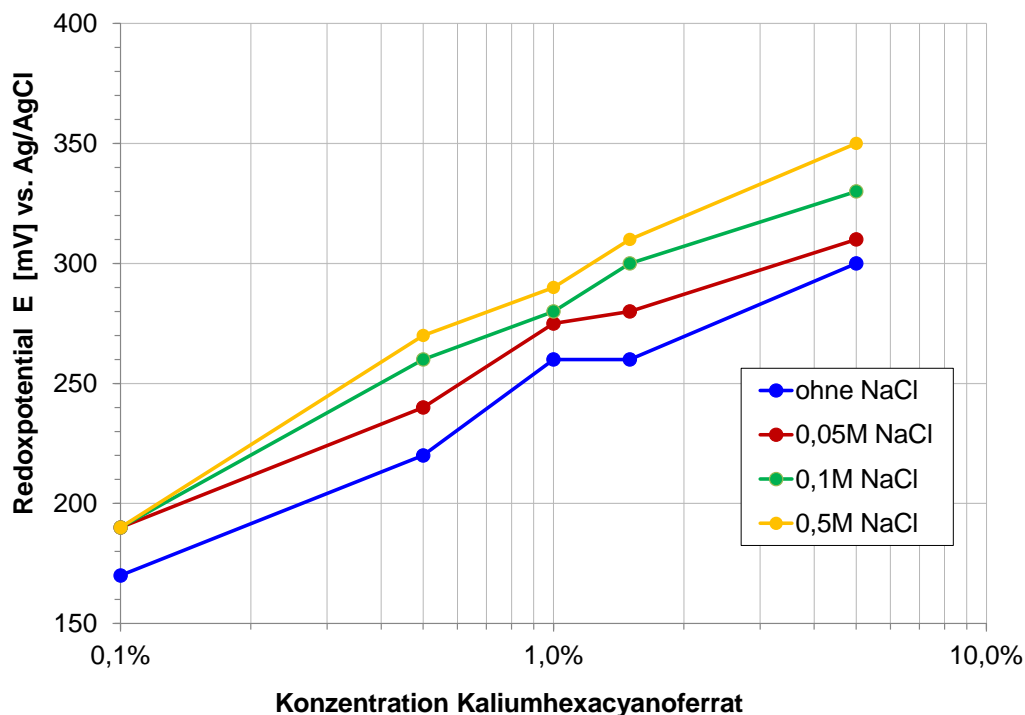


Abb. 22: Redoxpotentiale E des KorroPads gemessen auf einer Platinelektrode in Abhängigkeit von der Kaliumhexacyanoferrat- und Natriumchloridkonzentration

Abb. 23 zeigt den Einfluss der Konzentration des Indikators Kaliumhexacyanoferrat und der Chloridkonzentration auf die sich nach der KorroPad-Applikation einstellenden Freien Korrosionspotentiale E_{cor} am Werkstoff 1.4301 1a* in Oberflächenausführung W. Die Freien Korrosionspotentiale E_{cor} sind in Abb. 23 dargestellt.

sionspotentiale lagen hierbei leicht negativer als die zuvor gezeigten Redoxpotentiale. Bei Chloridkonzentrationen $\leq 0,1$ M NaCl im KorroPad waren die festgestellten Abhängigkeiten im Zusammenwirken mit Kaliumhexacyanoferrat analog zu denen der Redoxpotentiale. Bei Kaliumhexacyanoferrat-Konzentrationen von 5,0 % konnten aber bereits instabile Freie Korrosionspotentiale festgestellt werden. Bei höheren Chloridkonzentrationen im KorroPad von 0,5 M NaCl waren die Freien Korrosionspotentiale bereits bei der geringsten Kaliumhexacyanoferrat-Konzentration von 0,1 % instabil und eine Bestimmung eines Kennwertes nicht möglich.

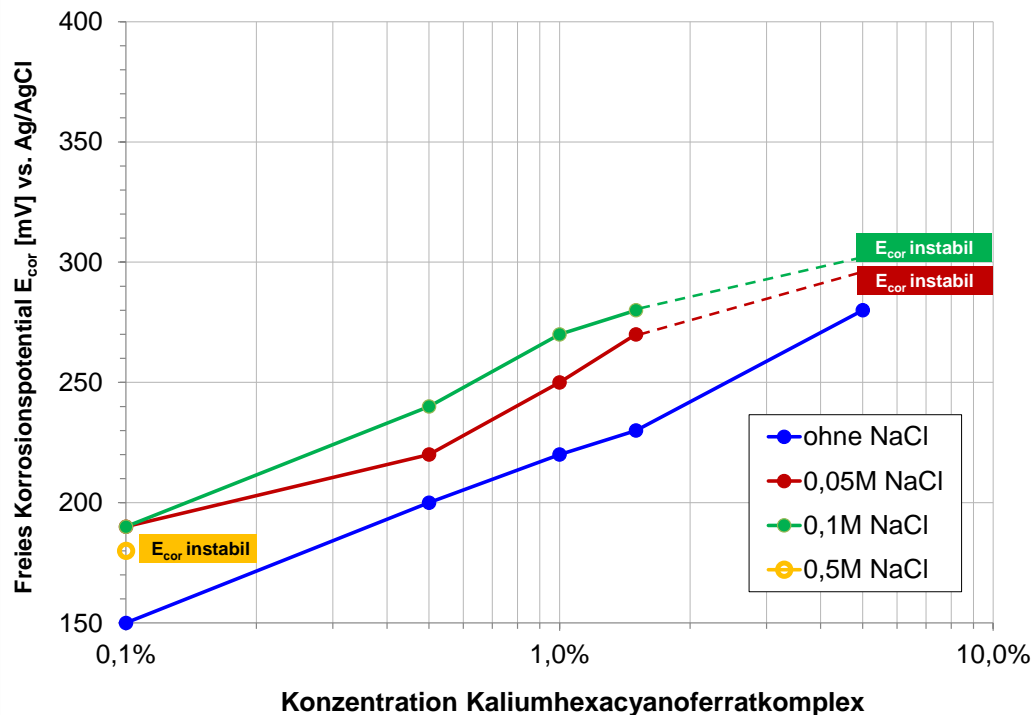


Abb. 23: Freie Korrosionspotentiale E_{cor} des Werkstoffs 1.4301 1a*(W) in Abhängigkeit von der Kaliumhexacyanoferrat- und Natriumchloridkonzentration des KorroPads

Der Einfluss der KorroPad-Zusammensetzung auf die praktischen Anzeigen der KorroPads wurde analog zu den elektrochemischen Versuchen zunächst am Werkstoff 1.4301 (1a*) in der Oberflächenausführung W überprüft. Exemplarisch ist das visuelle Erscheinungsbild der KorroPads nach der Prüfung in Abb. 24 dargestellt, die Auswertung hinsichtlich der Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen in Abb. 25. Es konnte hierbei festgestellt werden, dass bei NaCl-Konzentration von 0,05 M unabhängig von der Kaliumhexacyanoferrat-Konzentration keine Korrosionsanzeigen in den KorroPads vorhanden waren. Bei Erhöhung der NaCl-Konzentration auf 0,1 M war bis zu einer Kaliumhexacyanoferrat-Konzentration von 1,0 % ebenfalls noch keine Korrosionsanzeige feststellbar. Bei Konzentrationen von 1,5 % und 5,0 % Kaliumhexacyanoferrat waren vereinzelte sehr kleine Korrosionsanzeigen in den KorroPads mit Oberflächenanteilen von deutlich unter 0,1 % vorhanden. Bei weiterer Erhöhung der NaCl-Konzentration auf 0,5 M konnten bei Kaliumhexacyanoferrat-Konzentrationen $>0,50$ % zahlreiche blaue Korrosionsanzeigen festgestellt werden, die bei steigender Kaliumhexacyanoferrat-Konzentration in ihrer Farbe intensiver wurden. Die Oberflächenanteile lagen dann zwischen 0,1 – 1,0 %. Bei einer Kaliumhexacyanoferrat-Konzentration von 0,1 % waren bei diesem NaCl-Gehalt hingegen keine Korrosionsanzeigen feststellbar.

Allgemein kann bemerkt werden, dass das transparente KorroPad bei steigendem Kaliumhexacyanoferrat Anteil gelblicher wurde. Die Anzeighäufigkeit stieg mit größer werdendem Kaliumhexacyanoferrat-Gehalt an. Die Zugabe von NaCl beeinflusst die Anzeighäufigkeit noch deutlicher. Mit steigenden NaCl-Konzentrationen werden mehr und auch größere Anzeigen im KorroPad festgestellt.

Korrosionsanzeigen auf 1a(W) 1.4301		Konzentration Kaliumhexacyanoferrat				
		0,10%	0,50%	1,00%	1,50%	5,00%
Konzentration NaCl	0,05M					
	0,1M					
	0,5M					

Abb. 24: praktische KorroPad Korrosionsanzeigen auf Werkstoff 1a* (W) in Abhängigkeit von der Kaliumhexacyanoferrat- und Natriumchloridkonzentration des KorroPads

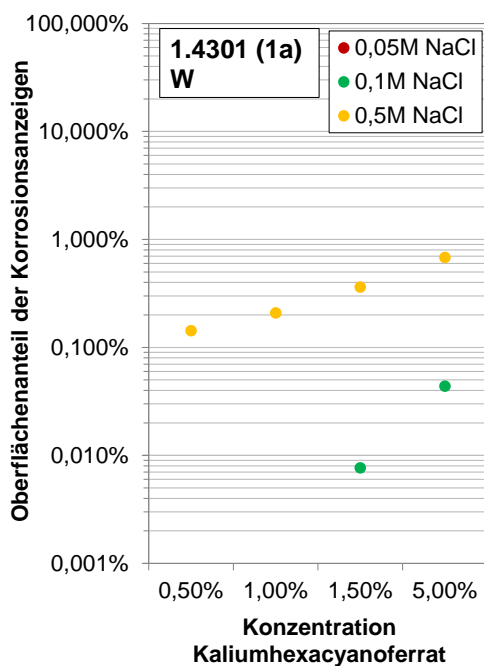


Abb. 25: Einfluss der KorroPad Zusammensetzung auf den Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen im KorroPad Werkstoff 1a (W)

Weiterhin wurde der Einfluss der KorroPad Zusammensetzung auf die Korrosionsanzeigen im KorroPad an weiteren Werkstoffchargen des 1.4301 (1a, 1B und 1c) sowie der Werkstoffe 1.4404 (2a) und 1.4401 (2b) überprüft. Diese wurden in geschliffener Oberflächenvariante *TS 160 K* verwendet. Vergleicht man die Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen der Werkstoffcharge 1a in den Oberflächenvarianten *W* und *TS 160 K* direkt miteinander fällt auf, dass die geschliffene Oberfläche *TS 160 K* signifikant mehr Anzeigen aufweist (vgl. Abb. 25 und Abb. 26).

Der beschriebene Einfluss einer steigenden Chloridkonzentration auf die Korrosionsanzeigen war beim Werkstoff 1.4301 (1a, 1b und 1c) sowie beim 1.4404 (2a) vorhanden und spiegelte sich in steigenden Oberflächenanteilen wieder (Abb. 26 und 27). Am ausgeprägtesten war der Einfluss bei den beiden Chargen des Werkstoffs 1.4301. Bei Werkstoff 1.4401 (2b) war ein Chlorideinfluss innerhalb der untersuchten Konzentrationen nicht abzuleiten, da hier kaum Korrosionsanzeigen im KorroPad vorhanden waren.

Für die Werkstoffe 1.4301 (1a, 1b und 1c) sowie 1.4404 (2a) war ein untergeordneter Einfluss der Kaliumhexacyanoferrat-Konzentration hinsichtlich der Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen nachweisbar.

Im Vergleich der Werkstoffe untereinander ist festzustellen, dass hinsichtlich der Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen deutliche Unterschiede vorhanden sind. Beim Werkstoff 1.4301 konnten für die Chargen 1b und 1c Oberflächenanteile festgestellt werden, die etwa eine Zehnerpotenz niedriger waren als bei Charge 1a. Beim Werkstoff 1.4404 (2a) waren die Unterschiede zum Vergleichswerkstoff 1.4401 (2b) noch größer. Während beim Werkstoff 1.4401 (2b) nur bei den jeweils höchsten Konzentrationen von Chlorid (0,5 M NaCl) und Kaliumhexacyanoferrat (5,0 %) eine Korrosionsanzeige mit einem Oberflächenanteil von 0,1 % festgestellt werden konnte, waren beim Werkstoff 1.4404 (2a) bei allen Prüfmittelkonzentrationen Korrosionsanzeigen vorhanden, die bis zu 20 % der KorroPad Prüffläche bedeckten.

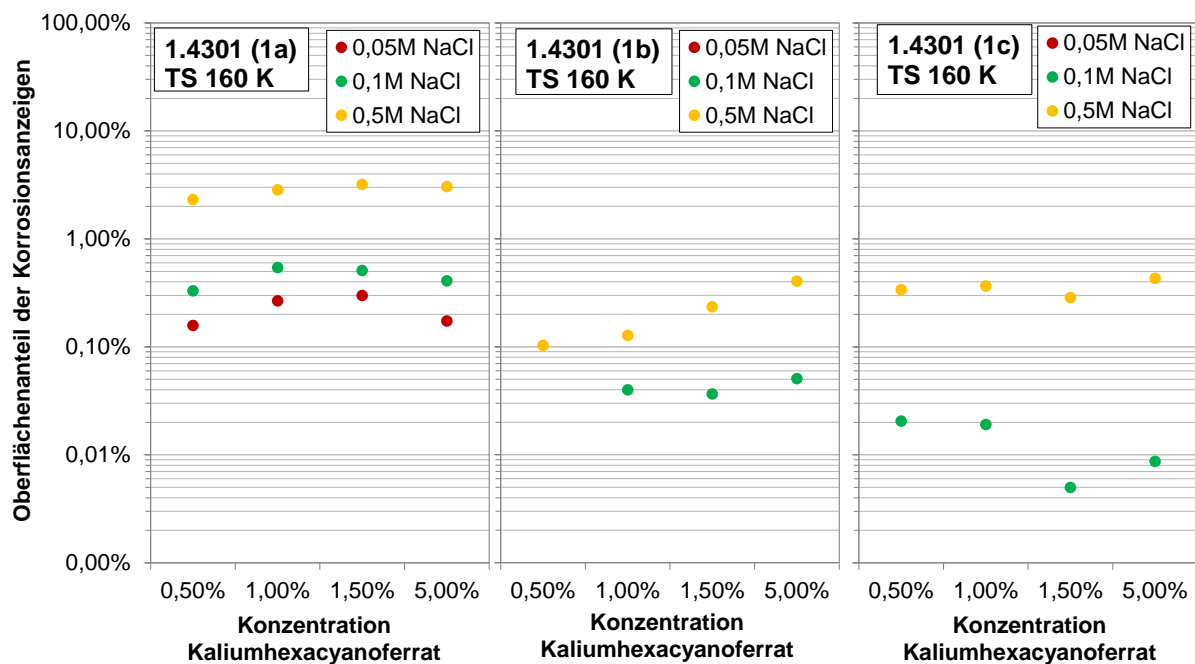


Abb. 26: Einfluss der KorroPad Zusammensetzung auf den Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen im KorroPad an den Werkstoffchargen 1.4301 (1a, 1b und 1c) mit Oberflächenausführung Trockenschliff (*TS 160 K*)

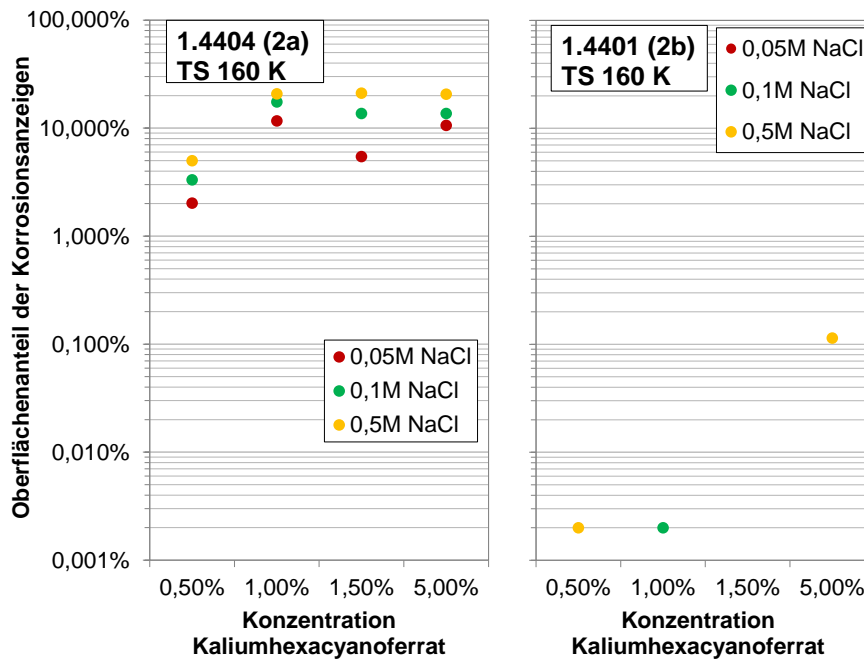


Abb. 27: Einfluss der KorroPad Zusammensetzung auf den Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen im KorroPad am Werkstoff 1.4404 (2a) und 1.4401 (2b) mit Oberflächenausführung Trockenschliff (TS 160 K)

5.1.2 Einfluss alternatives Bindemittel

Mit Hilfe von Mowiol lässt sich eine flüssige Lösung herstellen, die bei hohen Mowiol-Konzentrationen (30% in wässriger Lösung 1,5 % Kaliumhexacyanoferrat + 0,1M NaCl) eine dickflüssige, honigartige Konsistenz aufweist. In Abb. 28 sind einige Applikationsversuche des Detektionsmittels mit Bindemittel Mowiol im Vergleich zum Bindemittel Agar auf einer sehr reaktiven Oberfläche eines Werkstoffes 3* (1.4003) dargestellt. Die Applikation der dickflüssigen Lösung mit einem Pinsel führte zu einem Verwischen der Korrosionsanzeigen. Bei einem Auftropfen der Lösung ist ebenfalls ein Verlaufen der Anzeigen zu beobachten, was wahrscheinlich auf die Ionenbeweglichkeit zurückzuführen ist. Eine ortsgenaue Auflösung der Korrosionsanzeigtellen ist bei beiden Applikationsverfahren nicht möglich. Die Trockendauer der Lösung von ca. 30 Minuten ist relativ lang, wodurch eine verkürzte Prüfzeit nicht möglich ist. Das Ablösen des eingetrockneten Mowiol-Films ist recht umständlich und nicht immer zerstörungsfrei möglich, da er sehr dünn ist und zudem fest auf der Oberfläche haftet. Für die praktische Anwendung im Sinne des KorroPads und eine nachträgliche Dokumentation sind die Eigenschaften des Mowioms als Bindemittel nicht geeignet. Mowiol ist somit nach den durchgeführten Untersuchungen für die Zielsetzungen des Vorhabens keine Alternative zum Agar als Bindemittel.

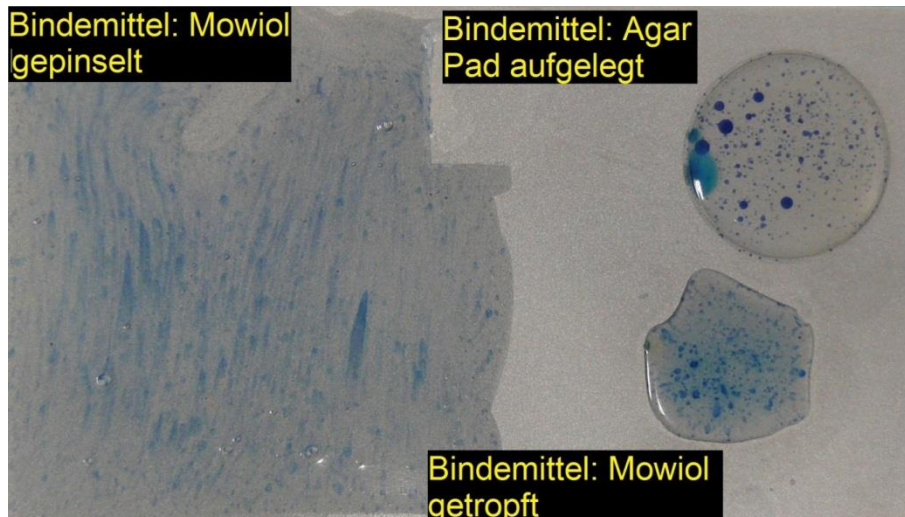


Abb. 28: praktische Korrosionsanzeigen bei Verwendung unterschiedlicher Bindemitteltypen auf Werkstoff 3(W) 1.4003, 1,5 % Kaliumhexacyanoferrat + 0,1M NaCl

5.2 Einfluss Werkstoff

Der Werkstoffeinfluss auf die Korrosionsanzeigen der KorroPads wurde an bis zu 9 unterschiedlichen Werkstoffen in insgesamt 12 Chargen untersucht.

Für den Oberflächenzustand *W* (Abb. 29) wurden nur bei 5 Werkstoffen und dort im Allgemeinen sehr wenige Korrosionsanzeigen mit geringen Oberflächenanteilen deutlich unter 0,1 % festgestellt. Der Werkstoff 1.4404 (2a) wies im Vergleich der Werkstoffe den größten Oberflächenanteil von 0,04 % auf und lag damit etwa eine Zehnerpotenz höher, als die niedriger legierten Austenite 1.4301 und 1.4376.

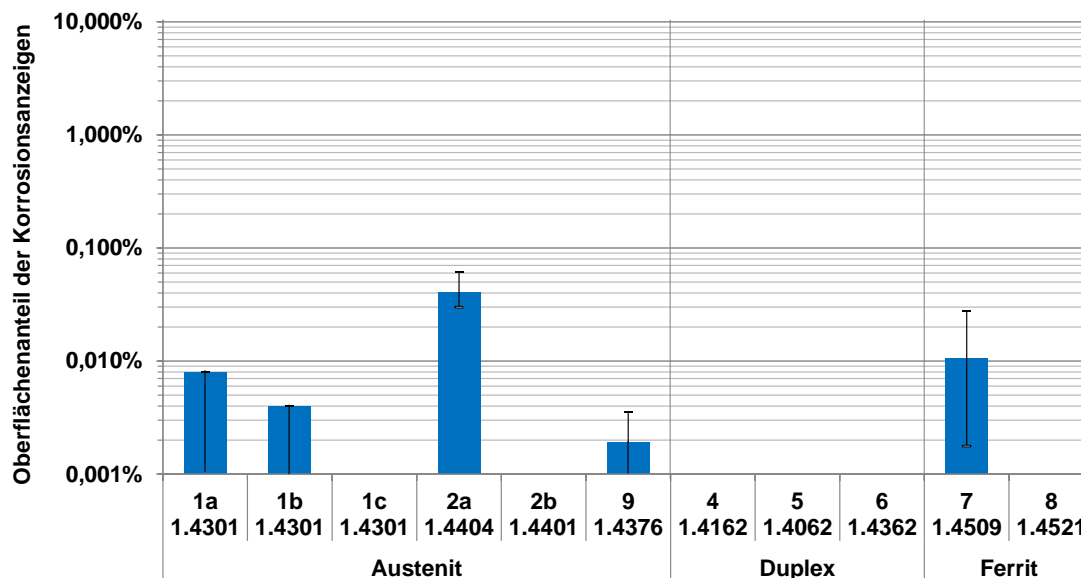


Abb. 29: Einfluss der Legierungszusammensetzung auf die KorroPad Korrosionsanzeigen bei Oberflächen im Lieferzustand *W*; Mittelwerte und Streubänder aus 3 Vergleichsprüfungen

Der Werkstoffeinfluss auf die Korrosionsanzeigen der KorroPads bei einer korrosionsanfälligen Oberflächenausführung ist in Abb. 30 für den Oberflächenzustand *N 240 K* dargestellt. Es konnte für nahezu alle verwendeten Werkstoffe mittlere Oberflächenanteile von >0,1 %

festgestellt werden. Ausnahmen bildeten der molybdänlegierte Ferrit 1.4521, der bei Oberflächenanteilen der Korrosionsanzeigen um 0,01 % die geringsten und der Werkstoff 1.4509, der mit Werten um 3,0 % die größten Oberflächenanteile aufwies. Die austenitischen- und die Duplexwerkstoffe lagen bei Werten zwischen 0,1 und 1,0 %, ein signifikanter Einfluss der Legierungszusammensetzung war hier nicht feststellbar.

Der Werkstoffeinfluss auf die Korrosionsanzeigen der KorroPads bei einer korrosionsbeständigen Oberflächenausführung ist in Abb. 31 für den Oberflächenzustand *N 240 SiC* dargestellt. Hier zeigte sich ein mit dem Lieferzustand vergleichbares Bild. Auch in diesem Oberflächenzustand konnte für den Werkstoff 1.4404 (2b) ein mit dem ferritischen Werkstoff 1.4509 vergleichbar hoher Oberflächenanteil ermittelt werden. Der überwiegende Teil der Werkstoffe blieb gänzlich ohne Korrosionsanzeigen.

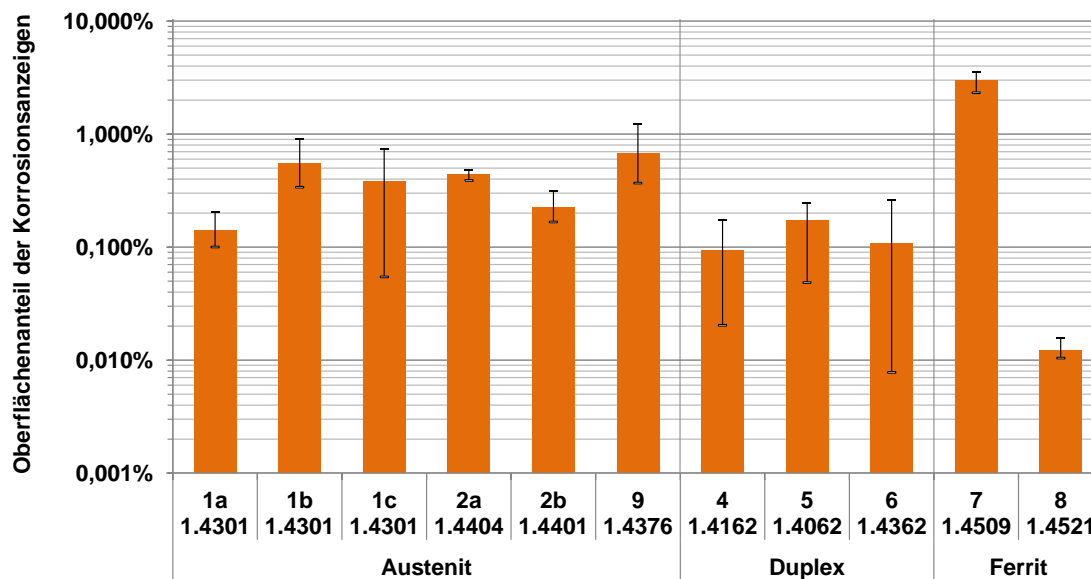


Abb. 30: Einfluss der Legierungszusammensetzung auf die KorroPad Korrosionsanzeigen bei korrosionsanfälliger Oberflächenvariante *N 240 K*; Mittelwerte und Streubänder aus 3 Vergleichsprüfungen

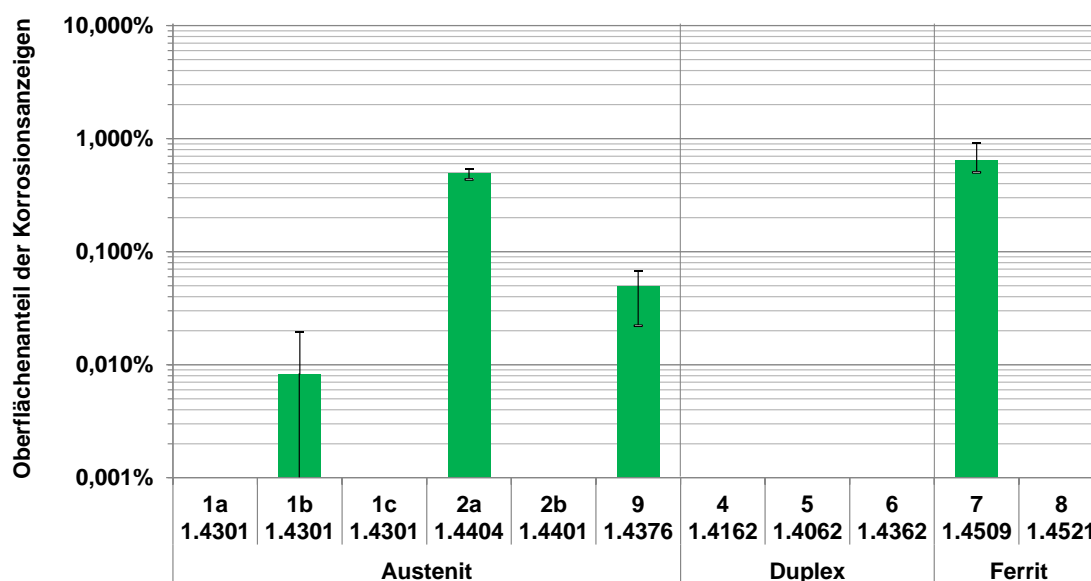


Abb. 31: Einfluss der Legierungszusammensetzung auf die KorroPad Korrosionsanzeigen bei korrosionsbeständiger Oberflächenvariante *N 240 SiC*; Mittelwerte und Streubänder aus 3 Vergleichsprüfungen

Der am geringsten legierte Werkstoff 1.4003 (3) wurde analog zu den zuvor unter 5.1.1 verwendeten Zusammensetzungen überprüft um die Einsatzgrenzen bei diesem sehr gering legierten Werkstoff zu überprüfen. Das Ergebnis in Abb. 32 zeigt, dass mit Ausnahme der Kaliumhexacyanoferrat-Konzentration 0,1 % bei allen Varianten der Zusammensetzungen sehr viele Korrosionsanzeigen feststellbar waren. Diese zeigten keine erkennbare Abhängigkeit bzgl. der Konzentrationsänderungen, lediglich in der Farbintensität der Anzeigen wichen voneinander ab. Es kann daher festgestellt werden, dass eine Kaliumhexacyanoferrat-Konzentration von 0,1 % offensichtlich nicht ausreichend ist um eine korrosionsanfällige Oberfläche zu detektieren.

Korrosions- anzeigen auf 3(TS 160 K) 1.4003		Konzentration Kaliumhexacyanoferrat				
		0,10 %	0,50 %	1,00 %	1,50 %	5,00 %
Konzentration NaCl	0,05M					
	0,1M					
	0,5M					

Abb. 32: praktische KorroPad Korrosionsanzeigen auf Werkstoff 3 (TS 160 K) in Abhängigkeit von der Kaliumhexacyanoferrat- und Natriumchloridkonzentration des KorroPads

5.3 Einfluss Oberflächenausführung

Die Ergebnisse der KorroPad Prüfung auf der Ausgangsoberfläche im Lieferzustand *W* wurde in Abschnitt 5.2 beschrieben. Ausgehend von dieser Oberfläche sind auf ausgewählten Werkstoffen unterschiedliche mechanische Oberflächenbearbeitungsverfahren eingesetzt worden, um deren Einfluss auf die Korrosionsanzeigen im KorroPad zu überprüfen.

5.3.1 Einfluss Schleifmittel

Der Einfluss unterschiedlich geschliffener Oberflächenausführungen auf die Korrosionsanzeigen im KorroPad wurde für Trockenschliffe mit 5 verschiedenen Schleifmitteln auf dem Werkstoff 1.4301 (1b) überprüft. Hier waren signifikante Unterschiede in den Oberflächenanteilen der Korrosionsanzeigen feststellbar (Abb. 33). Der Schliff mit der größten Körnung *TS 60 K* zeigte deutliche Anzeigen mit Oberflächenanteilen nahe 1,0 %. Bei den etwas feiner

geschliffenen Varianten *TS 160 K* und besonders bei *TS 150 K* waren sehr viel kleinere Oberflächenanteile feststellbar. Auffällig war, dass die Probe *TS 240 K* trotz eines noch feineren Korns 240 Korund keine geringeren, sondern deutlich höhere Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen, etwa im Wertebereich der groben Schliiffvariante *TS 60 K*, aufwies. Besonders auffällig ist im Vergleich dazu, die mit einem Schleifmittel Korn 240 Siliziumkarbid geschliffene Probe *TS 240 SiC*, für die keine Korrosionsanzeigen im KorroPad festgestellt werden konnten.

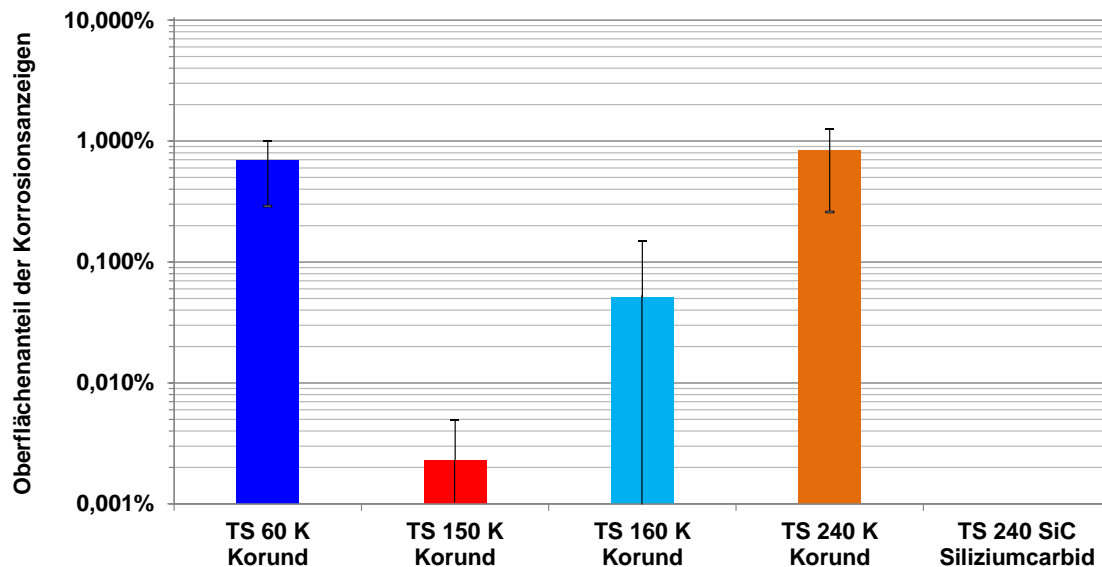


Abb. 33: Einfluss verschiedener Trockenschliffvarianten auf die Oberflächenanteile an Korrosionsanzeigen im KorroPad; des Werkstoff 1b (1.4301); Mittelwerte und Streubänder aus 3 Vergleichsprüfungen

Bei den Nassschliffvarianten der Werkstoffchargen des 1.4301 (1b) und (1c) konnten die großen Unterschiede zwischen den Korund- und Siliziumkarbid bestätigt werden (Abb. 34). Die mit Korn 240 Korundscheifmittel geschliffenen Proben *N 240 K* wiesen signifikant höhere Oberflächenanteile an Korrosionsanzeigen auf, als die Siliziumkarbid geschliffenen Proben mit Korn 180 (*N 180 SiC*) und Korn 240 (*N 240 SiC*). Diese lagen mit Werten $<0,01\%$ zwei Zehnerpotenzen darunter. Die Oberflächenanteile der grob geschliffenen Zirkonkorund Variante *N 40 Zk* lagen etwa in dem Wertebereich der *N 240 K* Proben.

Die nassgeschliffenen Proben aus dem Werkstoff 1.4401 (2b) zeigten dieselben Abhängigkeiten, jedoch waren teilweise geringere Unterschiede zwischen den Korund- und Siliziumkarbidschliffen vorhanden. Insbesondere die Variante *N 240 SiC* zeigte mit ca. $0,1\%$ höhere Oberflächenanteile an Korrosionsanzeigen, als die Werkstoffchargen des 1.4301.

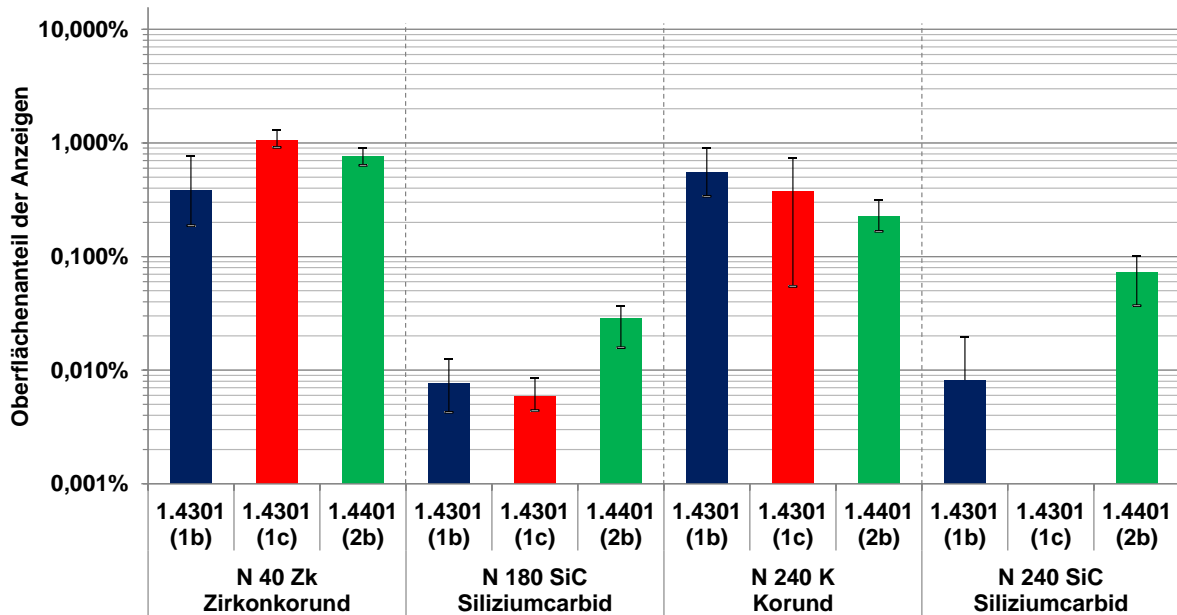


Abb. 34: Einfluss verschiedener Nassschliffvarianten auf Oberflächenanteile an Korrosionsanzeigen im KorroPad; Werkstoff 1b, 1c (1.4301) 2b (1.4401); Mittelwerte und Streubänder aus 3 Vergleichsprüfungen

Verschiedene Schliffvarianten wurden einer Endbehandlung mittels Schleifvlies (Finishband) unterzogen, um auch diesen in der Metallbaupraxis sehr verbreiteten Oberflächenzustand hinsichtlich der Korrosionsanzeigen im KorroPad zu untersuchen. Diese Varianten wurden an Proben des Werkstoffes 1.4301 (1b) durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abb. 35 für Trocken und Nassschliffe abgebildet. Eine ausschließliche Behandlung der Lieferoberfläche mit Finishband FB zeigte nur sehr vereinzelte kleine Korrosionsanzeigen in den KorroPads mit Oberflächenanteilen von <0,01 %. Bei den zuvor trocken geschliffenen Varianten TS 60 K und TS 160 K konnte eine Verringerung der Oberflächenanteile um eine Zehnerpotenz festgestellt werden. Die Variante TS 150 K hingegen stieg um eine Zehnerpotenz auf einen Oberflächenanteil von etwa 0,02 % an.

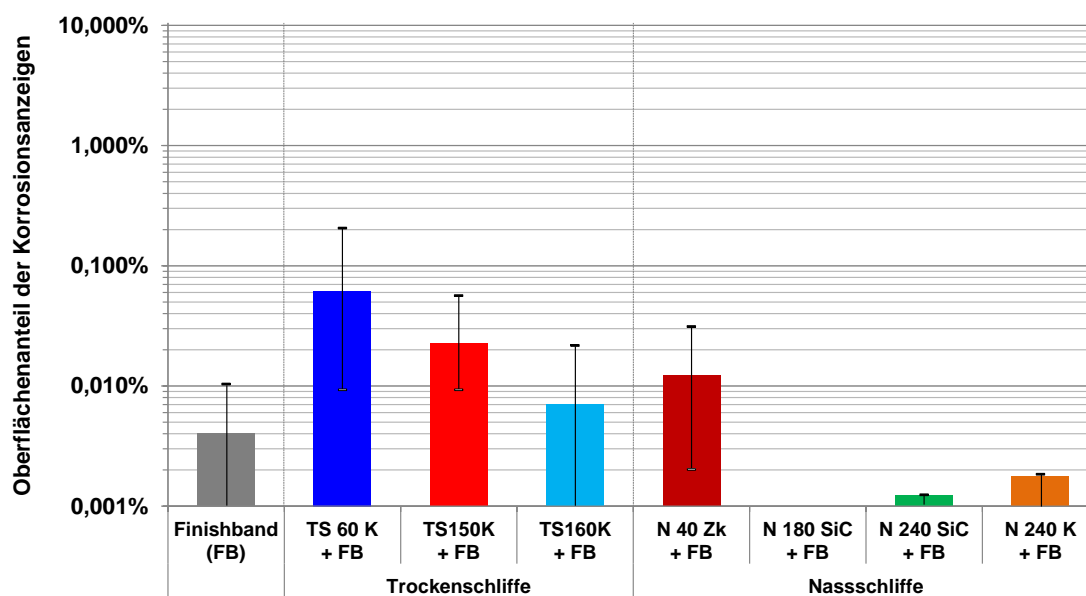


Abb. 35: Einfluss einer abschließenden Vliesbehandlung (Finishband) der Schliffvarianten auf Oberflächenanteile an Korrosionsanzeigen im KorroPad; Werkstoff 1b (1.4301); Mittelwerte und Streubänder aus 3 Vergleichsprüfungen

5.3.2 Einfluss Strahlmittel

Der Einfluss unterschiedlicher Strahlvarianten auf die Korrosionsanzeigen im KorroPad ist in Abb. 36 für den Werkstoff 1.4301 (1b) dargestellt. Es konnte festgestellt werden, dass die Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen bei keiner Variante über einem Wert von 0,1 % lagen. Es waren aber Unterschiede zwischen den verschiedenen Strahlgutarten vorhanden. Die Variante mit Glasbruch gestrahlter Oberfläche *GB 315* zeigte etwa eine Zehnerpotenz höhere Oberflächenanteile, als die Korundbruch gestrahlte Variante *KB 210* sowie die mit groben Glasperlen gestrahlte Oberfläche *GP 600*. Die mit feinen Glasperlen gestrahlte Oberfläche *GP 50* blieb in den KorroPad Prüfungen ohne Korrosionsanzeigen.

Drei Varianten wurden abschließend mittels groben Glasperlen *GP 600* nachgestrahlt, um den Einfluss eines nachträglich verdichtenden Stahls zu überprüfen. Die Ergebnisse zeigen, dass für die zuvor mit Glasbruch gestrahlte Variante *GB 315 + GP 600* keine signifikante Änderung der Korrosionsanzeigen zum Grundzustand *GB 315* feststellbar war. Für die zuvor mit Korundbruch gestrahlte Oberfläche *KB 210 + GP 600* war ein Oberflächenanteil zu ermitteln, der etwa eine Zehnerpotenz größer war, als der Grundzustand *KB 210*. Die Oberflächen welche mit feinen Glasperlen gestrahlt wurden, blieben auch durch das Nachstrahlen mit größeren Glasperlen *GP 50 + GP 600* ohne Korrosionsanzeigen.

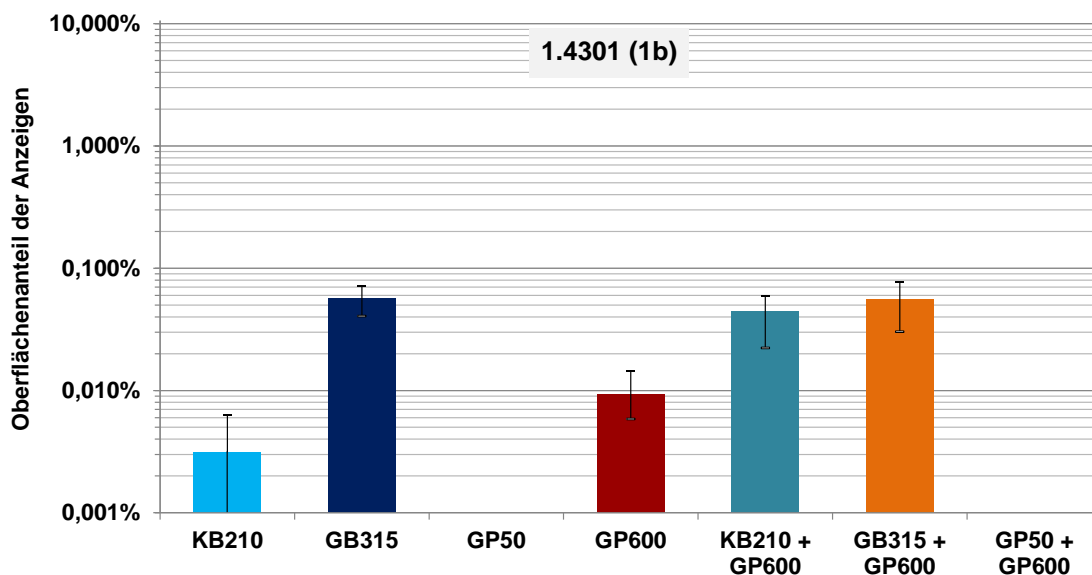


Abb. 36: Einfluss verschiedener Strahlvarianten auf die Oberflächenanteile an Korrosionsanzeigen im KorroPad; Werkstoff 1b (1.4301); Mittelwerte und Streubänder aus 3 Vergleichsprüfungen

5.4 Einfluss Feuchtlagerungsdauer

Eine der Korrosionsprüfung vorausgehende Feuchtlagerung der Proben nach einer mechanischen Oberflächenbearbeitung wirkt sich signifikant auf das Ergebnis der KorroPad-Prüfung aus. Zum einen wird deutlich, wie eine Feuchtlagerung die Passivschichtausbildung der unterschiedlich geschliffenen Proben unterstützt. Zum anderen kann man erkennen, dass sich die Probenoberflächen direkt nach der Oberflächenbearbeitung (ohne Feuchtlagerung) durch die Korrosionsanzeigen kaum differenzieren lassen.

Beim Werkstoff 1.4301 (1b) wies die mit Korn 180 Siliziumkarbid (N180SiC) geschliffene Oberfläche ohne Feuchtlagerung in der KorroPad Prüfung viele Korrosionsanzeigen auf (Abb. 37), zeigte aber bereits nach 48 stündiger Feuchtlagerung keine ausgeprägten Korrosionsanzeigen mehr. Die mit Korund Korn 240 geschliffene Oberfläche (N240K) wies ohne Feuchtlagerung ausgeprägtere Korrosionsanzeigen auf als N180SiC und zeigte auch nach 48 und sogar 144 stündiger Feuchtlagerung noch signifikante Korrosionsanzeigen.

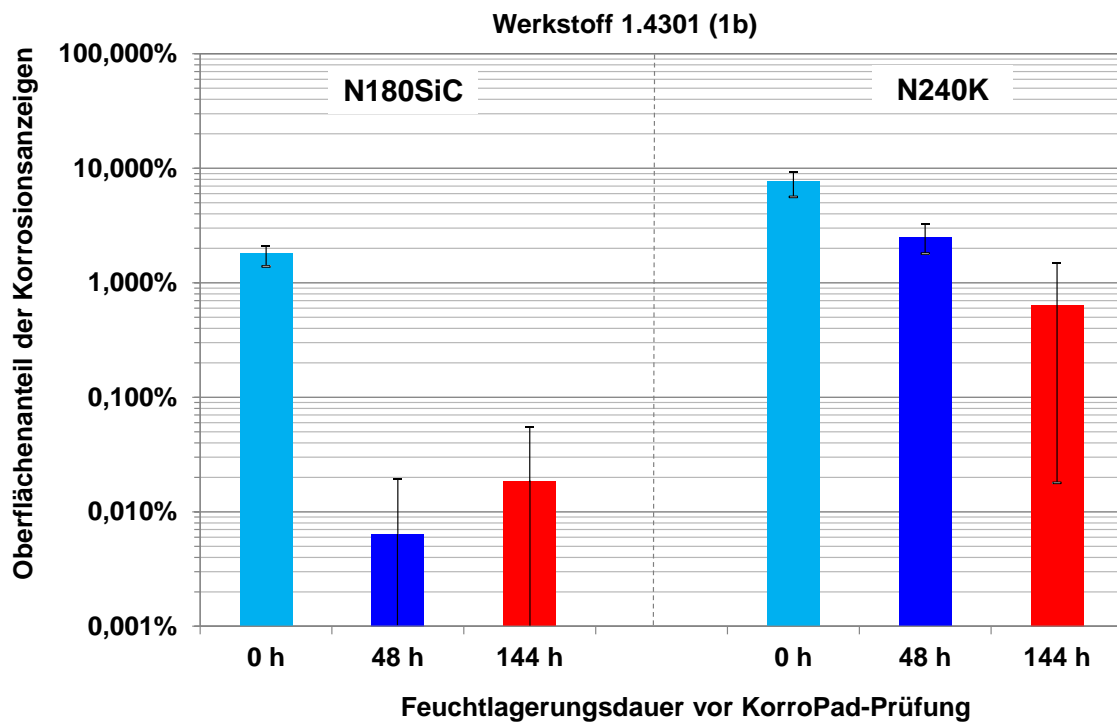


Abb. 37: Einfluss der Feuchtlagerungsdauer auf die ermittelten Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen bei der KorroPad-Prüfung, Werkstoff 1.4301 (1b) mit Nassschliffvarianten; Mittelwerte und Streubänder aus 3 Vergleichsprüfungen

Beim molybdänlegierten Werkstoff 1.4401 (2b) war eine ähnliche Abhängigkeit wie beim 1.4301 (1b) zu beobachten. Der positive Einfluss einer Feuchtlagerung vor der Prüfung auf die Differenzierbarkeit hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit war auch bei diesem Werkstoff vorhanden (Abb. 38). Während eine Unterscheidung der Nassschliffvarianten ohne vorherige Feuchtlagerung bezüglich der KorroPad Prüfergebnisse nicht möglich ist, kann bereits nach 48 Stunden Feuchtlagerung ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Schleifmitteln festgestellt werden.

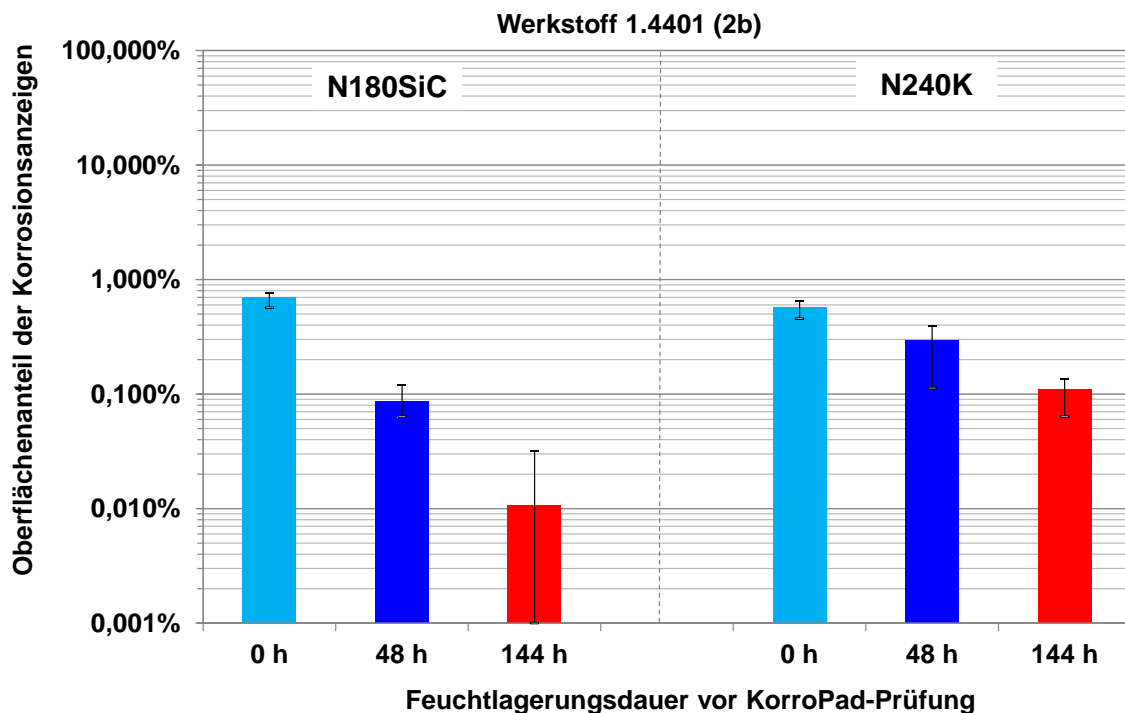


Abb. 38: Einfluss der Feuchtlagerungsdauer auf die ermittelten Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen bei der KorroPad-Prüfung, Werkstoff 1.4401 (2b) mit Nassschliffvarianten; Mittelwerte und Streubänder aus 3 Vergleichsprüfungen

Der Einfluss einer Feuchtlagerung in den ersten Stunden auf die Korrosionsanzeigen im KorroPad ist in Abb. 39 dargestellt. Um eine Beeinflussung durch eine unterschiedliche Körnungsgröße der Korund- und Siliziumkarbid Schleifmittel auf die Untersuchung auszuschließen, wurde diese Untersuchungen mit einheitlicher Körnung P 240 durchgeführt. Hier wird deutlich, dass auf einer mit einem Siliziumkarbid Schleifmittel geschliffene Oberflächenausführung N 240 SiC bereits nach 6 Stunden Feuchtlagerung keine Korrosionsanzeigen mehr feststellbar waren und bereits nach 1 Stunde einzelne KorroPads ohne Korrosionsanzeigen blieben. Bei der mit einem Korund Schleifmittel geschliffenen Variante N 240 K waren auch nach 144 h Feuchtlagerung noch Oberflächenanzeigen um ca. 0,1 % vorhanden. Selbst ohne Feuchtlagerung waren schon deutliche Unterschiede in der Oberflächenreaktivität der zwei Nassschliffvarianten festzustellen. Die mit Korundscheifmittel geschliffenen Oberflächen lagen hier bei Oberflächenanteilen der Korrosionsanzeigen um 1,0 %, die mit Siliziumkarbid geschliffenen deutlich unter 0,1 %.

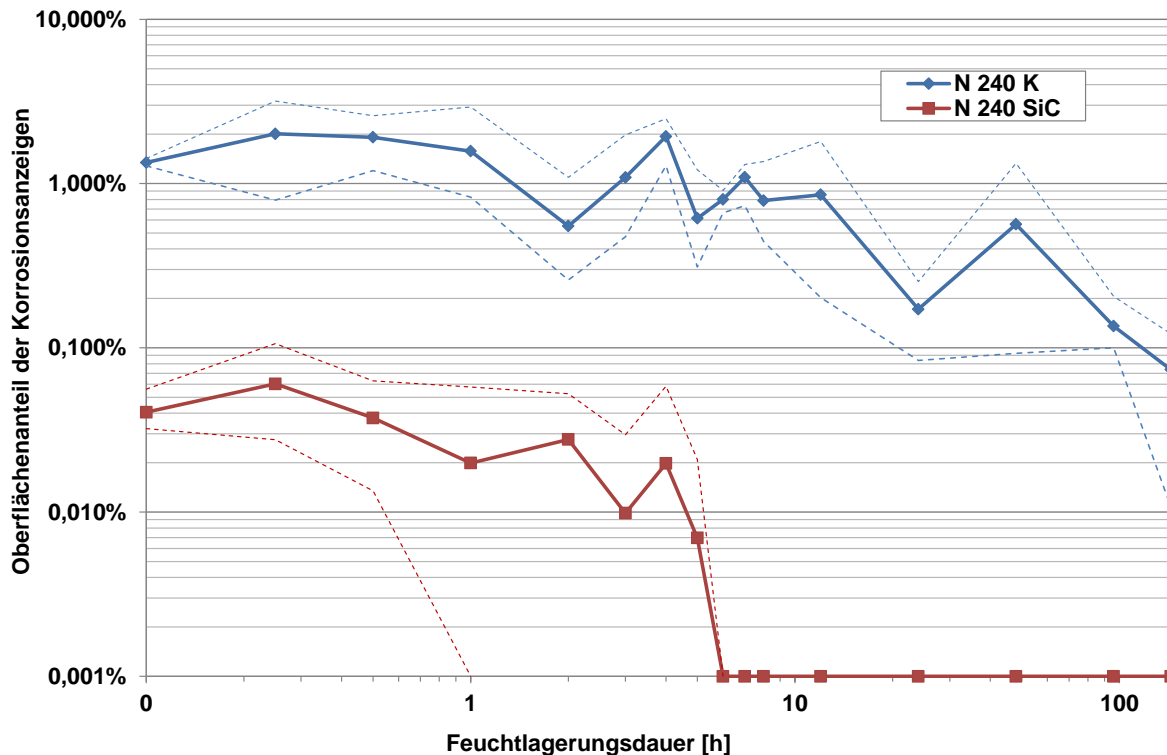


Abb.: 39: Einfluss der Feuchtlagerungsdauer auf die Korrosionsanzeigen der KorroPads in feinerer Abstufung; Werkstoff 1.4301 1b in verschiedenen Nassschliffvarianten, Mittelwerte und Streubänder aus 3 Vergleichsprüfungen

5.5 Einfluss der Prüftemperatur

Die Prüftemperatur hat in Abhängigkeit der Korrosionsbeständigkeit der Oberfläche einen Einfluss auf die Anzeigeintensität des KorroPads. In den Abb. 40 und 41 wird dieser Zusammenhang für die Werkstoffe 1.4301 (1b) und 1.4401 (2b) anhand der zwei unterschiedlichen Nassschliffvarianten Körnung P240 Korund (*N 240 K*) bzw. Körnung P180 Siliziumkarbid (*N 180 SiC*) verdeutlicht. Eine in vorherigen Untersuchungen als korrosionsbeständig identifizierte Oberfläche, hier *N 180 SiC*, zeigt bei beiden Werkstoffen im Temperaturbereich von +5 bis +20 °C keinen signifikanten Temperatureinfluss der Korrosionsanzeigen. Erst bei +30 und +50 °C wurden deutliche Korrosionsanzeigen festgestellt, deren Oberflächenanteil mit steigender Temperatur nur moderat anstieg. Beim Werkstoff 1.4301 (1b) mit Korund geschliffener Oberfläche *N 240 K* war dagegen ein deutlicher Temperatureinfluss zu verzeichnen. Während im Temperaturbereich von +15 und +20 °C vom Oberflächenanteil her vergleichbare und deutliche Korrosionsanzeigen die Korrosionsanfälligkeit bestätigten, waren bei sinkenden Temperaturen +10 und +5 °C nur noch sehr geringfügige Korrosionsanzeigen vorhanden. Bei +20 °C und höheren Temperaturen wurden die Korrosionsanzeigen dagegen wesentlich größer und häufiger. Eine Differenzierung zwischen der korrosionsanfälligen und der korrosionsbeständigen Oberfläche war bei allen Temperaturstufen zwischen +5 und +50 °C möglich, die absoluten Unterschiede wurden dabei mit steigender Temperatur größer und damit sicherer interpretierbar. Beim Werkstoff

1.4401 (2b) war bei der Korund geschliffenen Oberfläche *N 240 K* ein etwas geringerer Temperatureinfluss zu verzeichnen, als beim vorher betrachteten Werkstoff 1.4301 (1b). Die Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen waren bei Temperaturen $\geq 15\text{ °C}$ allgemein geringer und die einzelnen Anzeigen größtmäßig nicht so ausgedehnt. Für den Siliziumkarbid geschliffene Oberfläche *N 240 SiC* des 1.4401 (2b) konnten im Temperaturbereich von 5 - 20 °C etwas höhere, bei Temperaturen $\geq 30\text{ °C}$ etwa vergleichbare Oberflächenanteile zum Werkstoff 1.4301 (1b) festgestellt werden.

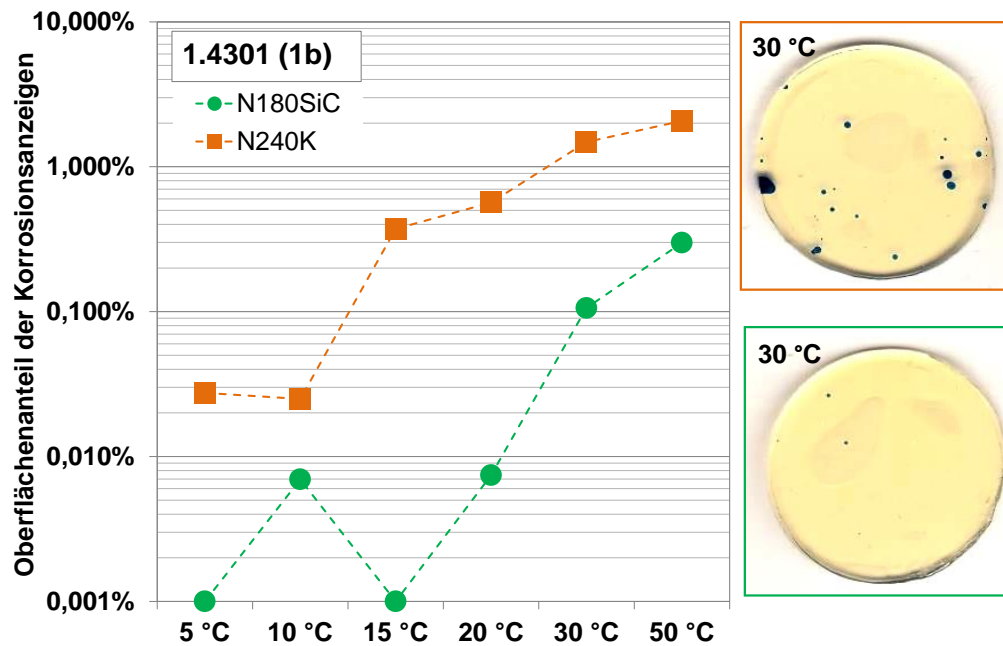


Abb. 40: Einfluss der Prüftemperatur auf die Ergebnisse der KorroPad Prüfung auf Werkstoff 1.4301 (1b) mit unterschiedlichen Nassschliffen

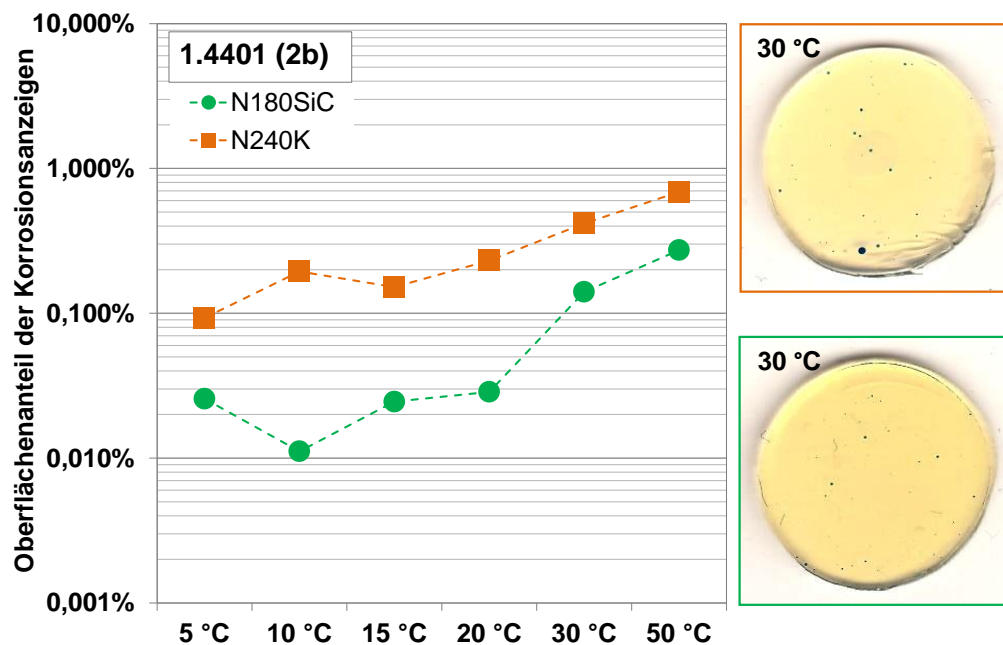


Abb. 41: Einfluss der Prüftemperatur auf die Ergebnisse der KorroPad Prüfung auf Werkstoff 1.4401 (2b) mit unterschiedlichen Nassschliffen

Bei einer Prüftemperatur von +70 °C war eine KorroPad Prüfung nicht mehr möglich, da hierbei das in den KorroPads enthaltene Wasser während der Prüfzeit ausgetrieben wird und letztlich das KorroPad austrocknet. Durch die damit verbundene Aufkonzentration kommt es zu massiven und unregelmäßigen Korrosionsanzeigen in den KorroPads. In Abb. 42 wird das anhand der Proben aus Werkstoff 1.4301 (1b) in Oberflächenausführung N 180 SiC verdeutlicht.

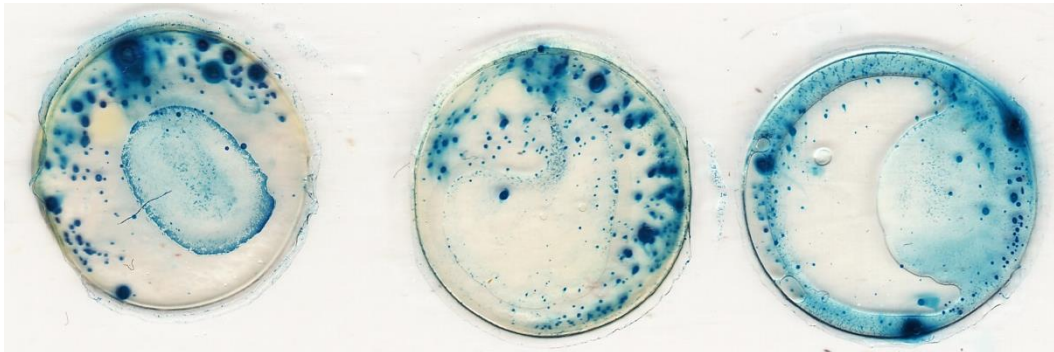


Abb. 42: Korrosionsanzeigen der KorroPads bei Prüftemperatur von 70 °C; Werkstoff 1.4301 (1b) Oberflächenausführung N 180 SiC

Im Zuge weiterer Untersuchungen zeigte sich, dass auch die Temperatur des Prüfmittels zum Zeitpunkt der Applikation einen signifikanten Einfluss auf das Prüfergebnis hat. Diese Versuche wurden für drei Werkstoffchargen des 1.4301 (1a, 1b, 1c) und für den Werkstoff 1.4401 (2a) in der Oberflächenausführung N 240 K durchgeführt (Abb. 43). Dabei konnte für alle Proben bei einer Prüfung mit KorroPads, die eine Temperatur bei der Applikation von +5 °C (Entnahmetemperatur aus Kühlschrank) hatten, Oberflächenanteile ermittelt werden, die etwa um eine Zehnerpotenz niedriger lagen, als das bei auf +20 °C vortemperierten KorroPads der Fall war. Für die systematischen Untersuchungen in diesem Bericht wurden die verwendeten KorroPads von Lagerungstemperatur (+5 °C) auf RT vortemperiert, um diesen Einfluss auf die Bewertung auszuschließen.

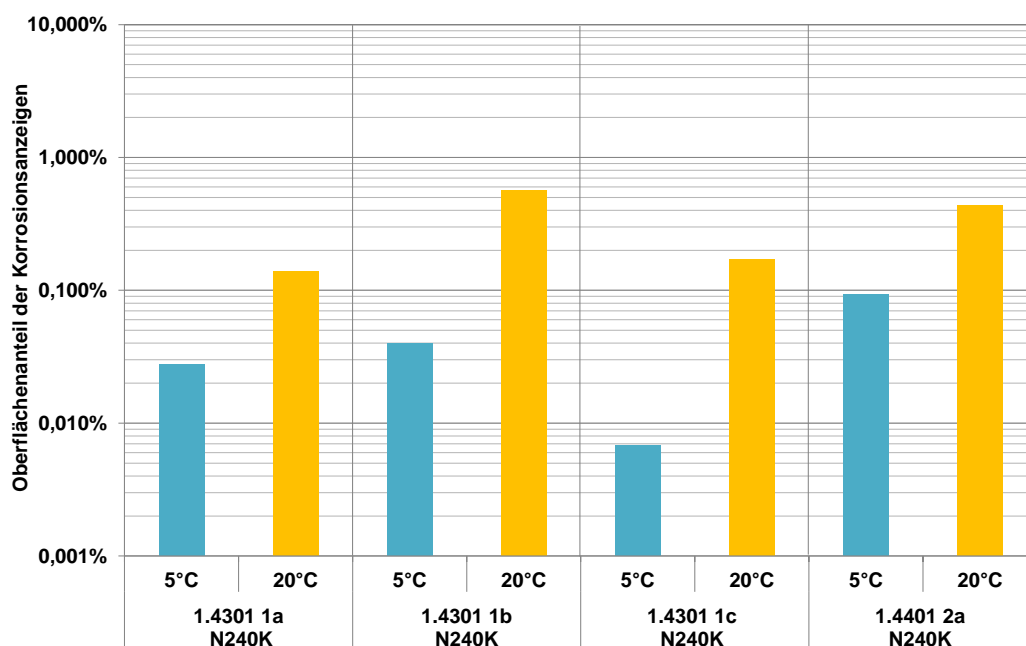


Abb. 43: Einfluss der KorroPad Temperatur zum Zeitpunkt der Prüfung auf die Ergebnisse der KorroPad Prüfung; verschiedene Werkstoffchargen mit Oberflächenvariante N 240 K bei RT

Bei der Unterschreitung des Gefrierpunkts $<0\text{ °C}$ wurde die innere Struktur des Gelpads zerstört. Aus den hart gefrorenen KorroPads (Abb. 44) tritt beim Auftauvorgang nach kurzer Zeit gelbliche Flüssigkeit aus. Dabei verlieren die KorroPads massiv an Volumen. Eine Prüfung war mit diesen KorroPads nicht mehr möglich.

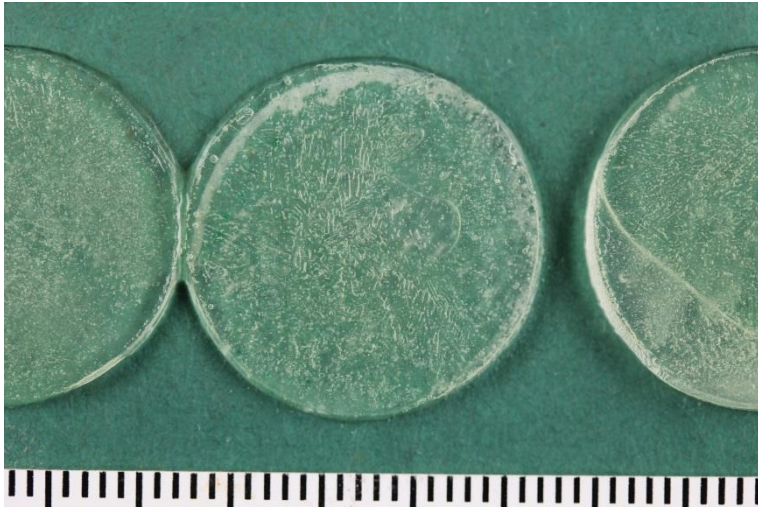


Abb. 44: Gefrorene KorroPads nach Lagerung bei -18 °C

5.6 Haltbarkeit

Das für die KorroPads verwendete Bindemittel Agar Agar ist ein organischer Nährboden und kann bei Verunreinigungen oder unsachgemäßer Anwendung zur Besiedlung mit Pilzen und Bakterien führen. Dies war im Verlauf des Vorhabens, insbesondere bei den Feldversuchen, ein häufig auftretendes Problem. Die KorroPads zeigten dabei bereits in den z.T. ungeöffneten Packungen Schimmel- und Bakterienbefall. Eine typische Ausprägung ist in Abb. 45 dargestellt. Diese KorroPads wurden nach der Prüfung auf Proben zurück in die Folientüten gelegt und lagerten dann 4 Wochen im Kühlschrank bei 8 °C . Die Ursachen für die Kontaminationen können vielgestaltig sein. Das Wachstum kann über die Lagerungstemperatur jedoch maßgeblich beeinflusst werden. Es ist daher zwingend darauf zu achten, dass die KorroPads dauerhaft bei Temperaturen zwischen $+5$ und $+8\text{ °C}$ gelagert werden.

Durch die Hinweise der an den Feldversuchen teilnehmenden Firmen konnte die Haltbarkeit durch Anpassungen im Verpackungskonzept deutlich verbessert werden. Bei sachgerechter Lagerung und Handhabung behalten die KorroPads über einen Zeitraum von 3 Monaten sicher ihre Gebrauchstauglichkeit. Mit KorroPads, die nach diesem Zeitraum noch die gewohnte Konsistenz aufweisen, ist auch darüber hinaus noch eine Prüfung ohne Einschränkung möglich.

Die Anzahl der KorroPad je Verpackungseinheit wurde reduziert und somit das Kontaminationsrisiko durch zu häufiges Öffnen der Packungen minimiert. Angebrochene Verpackungseinheiten sind kurzfristig zu verbrauchen um auch hier einer Besiedlung vorzubeugen.

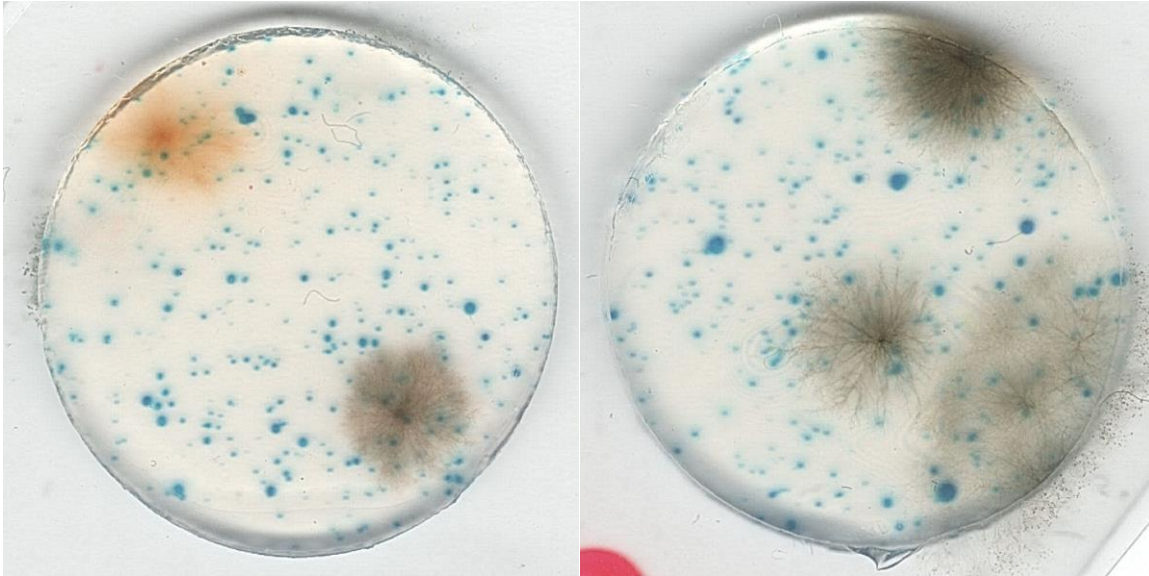


Abb. 45: KorroPads mit Schimmelbefall nach Prüfung und anschließender 4 wöchiger Lagerung im Kühlschrank (+8°C)

Zur Beseitigung möglicher Kontaminationen der KorroPads im Zuge der Herstellung und Verpackung, wurden im Rahmen von Tastversuchen KorroPads in geschlossenen Behältnissen mit verschiedenen Dosierungen Ozon (O_3) gespült. Die Ergebnisse sind in Abb. 46 dargestellt und zeigen, dass bei sehr hoher Konzentration des zu dosierten Ozons von 100 % eine sehr starke blaue Verfärbung des KorroPads auftrat. Die KorroPads waren dabei in sich bläulich durchgefärbt Verfärbungen und zeigten auch punktuelle Erscheinungen (vergleichbar mit den Korrosionsanzeigen in den KorroPads), obwohl sie keinen Kontakt zu metallischen Proben hatten. Die Intensität der Blaufärbung nimmt mit kürzeren Behandlungszeiten der KorroPads im Ozon etwas ab. Verringert man die Konzentration des Ozons auf 50 %, so kann keine Beeinflussung des KorroPads durch Verfärbung mehr beobachtet werden.

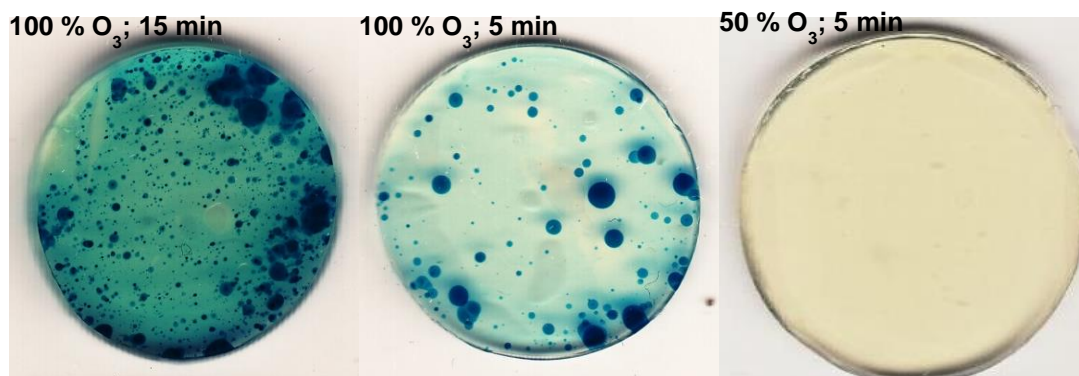


Abb. 46: KorroPads ohne Kontakt zu metallischen Proben nach Spülung mit Ozon in unterschiedlichen Konzentrationen und Auslagerungszeiten

Die Überprüfung, inwiefern sich die Ozonbehandlung auf die Anzeigen bei einer KorroPad Prüfung auswirkt, ist an Proben des Werkstoffes 1.4301 (1b) in der korrosionsanfälligen Oberflächenvariante N 240 K überprüft worden (Abb. 47). Durch die Ozonbehandlung konnten hier etwas weniger Korrosionsanzeigen beobachtet werden, bei weiter Verringerung des Ozonkonzentration, waren etwa vergleichbar viele Korrosionsanzeigen vorhanden.

Eine Wirksamkeitsanalyse hinsichtlich der Besiedlung durch Keime wurde im Rahmen des Vorhabens nicht durchgeführt.

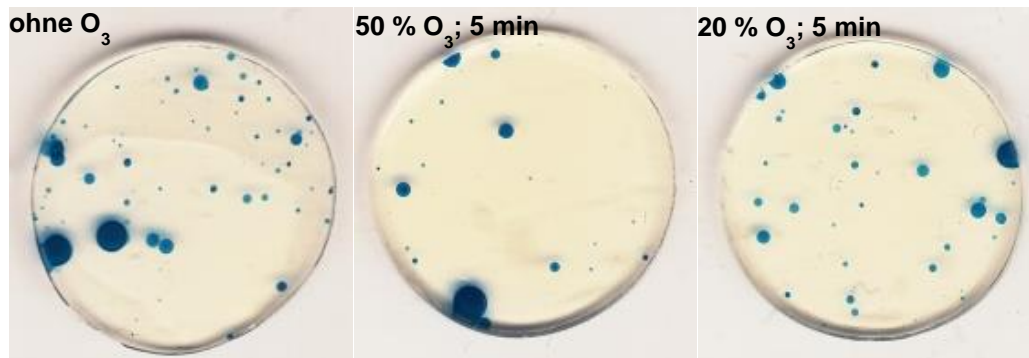


Abb. 47: KorroPads nach Spülung mit Ozon, Korrosionsanzeigen nach Prüfung auf 1.4301 (1b)

In weiteren Tastversuchen wurden KorroPads für 5 Minuten mit einer UV Leuchte bestrahlt. Das Ergebnis in Abb. 48 zeigt, dass es durch diese Behandlung zu Anzeigen in den KorroPads kommt, ohne dass die KorroPads mit metallischen Proben in Kontakt kamen. Die Ausprägung reichte von flächiger Blaufärbung bis zu punktuellen Farbumschlägen. Die Behandlung durch eine Bestrahlung mit UV Licht wurde im Rahmen des Vorhabens nicht weiter verfolgt. Eventuell kann durch eine Verringerung der Strahlungsintensität der beobachtete Effekt verhindert werden.

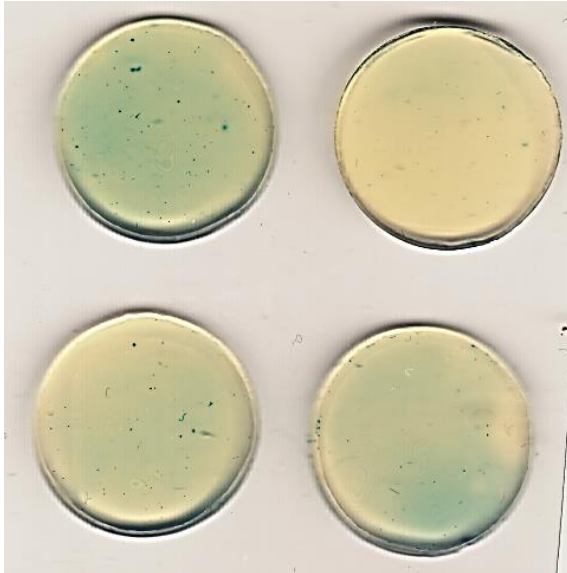


Abb. 48: KorroPads ohne Kontakt zu metallischen Proben nach 5 minütiger Bestrahlung mit einer UV Leuchte, mit Farbumschlag

5.7 Einfluss Schweißnaht Nachbehandlung

Der Einfluss unterschiedlicher Schweißnahtnachbearbeitungsverfahren wurde an den Werkstoffen 1.4301 (1d) und 1.4404 (2c) durchgeführt. Hierfür wurden Proben im WIG Schweißverfahren hergestellt und verschiedentlich nachbearbeitet. Da hier weniger die Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen, sondern vielmehr die Ausprägung der Korrosionsanzeigen im KorroPad von Bedeutung war, wurde auf eine softwaregestützte Bildanalyse verzichtet. Die KorroPads sind in Abb. 49 dargestellt. In der kaltgewalzten Ausgangsoberfläche zeigten beide Werkstoffe keine Korrosionsanzeigen. Belässt man die infolge des Schweißprozesses entstandenen Anlauffarben auf den Proben, können starke und große Korrosionsanzeigen in den KorroPads festgestellt werden, die sich entlang des Schweißnahtbereiches und der Wärmeeinflusszone befanden. Ein leichtes mechanisches Überschleifen des Schweißnahtbereiches konnte die korrosionsanfälligen Bereiche nicht ausreichend beseitigen und es waren noch signifikante Anzeigen vorhanden. Durch eine Nachbearbeitung mittels Glasperlenstrahlen konnte für den Werkstoff 1.4301 (1d) eine deutliche Verringerung der Korrosionsanzeigen festgestellt werden, die vorhandenen Anzeigen waren nur noch sehr klein. Beim Werkstoff 1.4404 (2c) waren dagegen noch mehrere größere Anzeigen vorhanden, die entlang des Schweißnahtandes entstanden waren. Eine Nachbearbeitung durch Beizen und Passivieren erzielt für beide Werkstoffe wieder optimale Ergebnisse und es konnten keine Korrosionsanzeigen festgestellt werden.

Werkstoffe	Oberflächenzustände				
	2B kaltwalz	mit Anlauffarben	mechanisch verschliffen	Glasperlen gestrahlt	gebeizt+passiviert
1.4301 (1d)					
1.4404 (2c)					

Abb. 49: Einfluss verschiedener Schweißnahtnachbearbeitungsmethoden auf die Korrosionsanzeigen der KorroPads

6 Ergebnisse Salzsprühnebelprüfung

6.1 Einfluss Werkstoff und Oberflächenausführung

Der legierungsseitige Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit bei einer Salzsprühnebelprüfung ist in Abb. 50 dargestellt. Es sind dieselben Proben verwendet worden, die vorher für die KorroPad Prüfungen eingesetzt wurden.

Es kann festgestellt werden, dass für viele Werkstoffe ausgehend vom Lieferzustand *W* mit einem Korundschleifmittel *N 240 K* eine Verschlechterung der Korrosionsbeständigkeit einherging, was durch kleinere Bewertungsgrade ausgedrückt ist. Für die mit Siliziumkarbid-schleifmittel bearbeiteten Proben *N 240 SiC* war dagegen bis auf wenige Ausnahmen (1.4376, 1.4509) eine Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit, gekennzeichnet durch größere Bewertungsgrade, zu verzeichnen.

Für die Gruppe der austenitischen Stähle waren diese Verhältnisse für die Standardwerkstoffe 1.4301 und 1.4404 bzw. 1.4401 am deutlichsten erkennbar. Auffällig war hierbei, dass im Korundschliff *N 240 K* selbst die höher legierten Werkstoffe 1.4404 bzw. 1.4401 mit Bewertungsgraden 5-6 nur ein vergleichbares Korrosionsverhalten wie die Werkstoffchargen 1.4301 zeigten. Beim Werkstoff 1.4376 war ausgehend von der Liefरोberfläche *W* durch die Nassschliffe eine leichte Verschlechterung der Korrosionsbeständigkeit zu verzeichnen. Insbesondere für den Siliziumkarbidschliff konnte hier der schlechteste Bewertungsgrad ermittelt werden.

Für die Werkstoffgruppe der Duplexstähle (1.4162, 1.4062, 1.4362) waren bei allen Oberflächenvarianten nur sehr geringfügige Korrosionserscheinungen vorhanden, was sich in den hervorragenden Bewertungsgraden von ≥ 9 widerspiegelt.

Die Gruppe der ferritischen Werkstoffe wies die größten Unterschiede im Korrosionsverhalten der Werkstoffe auf. Für den am niedrigsten legierten Werkstoff 1.4003 konnte im Lieferzustand *W* in der Salzsprühnebelprüfung sehr stark ausgeprägte Korrosionserscheinungen und somit nur der geringste Bewertungsgrad 1 festgestellt werden. Die Oberflächenvarianten *N 240 K* und *N 240 SiC* wurden für diesen Werkstoff nicht überprüft. Der molybdänlegierte Werkstoff 1.4521 zeigte im Salzsprühnebel bei allen Oberflächenvarianten eine hervorragende Korrosionsbeständigkeit, die mit Bewertungsgraden ≥ 9 vergleichbar mit den Duplexstählen ist. Der molybdänfreie Werkstoff 1.4509 zeigte bei den geschliffenen Varianten insbesondere bei *N 240 K* ein ungünstigeres Korrosionsverhalten, etwa vergleichbar mit den Bewertungsgraden des Werkstoffes 1.4301.

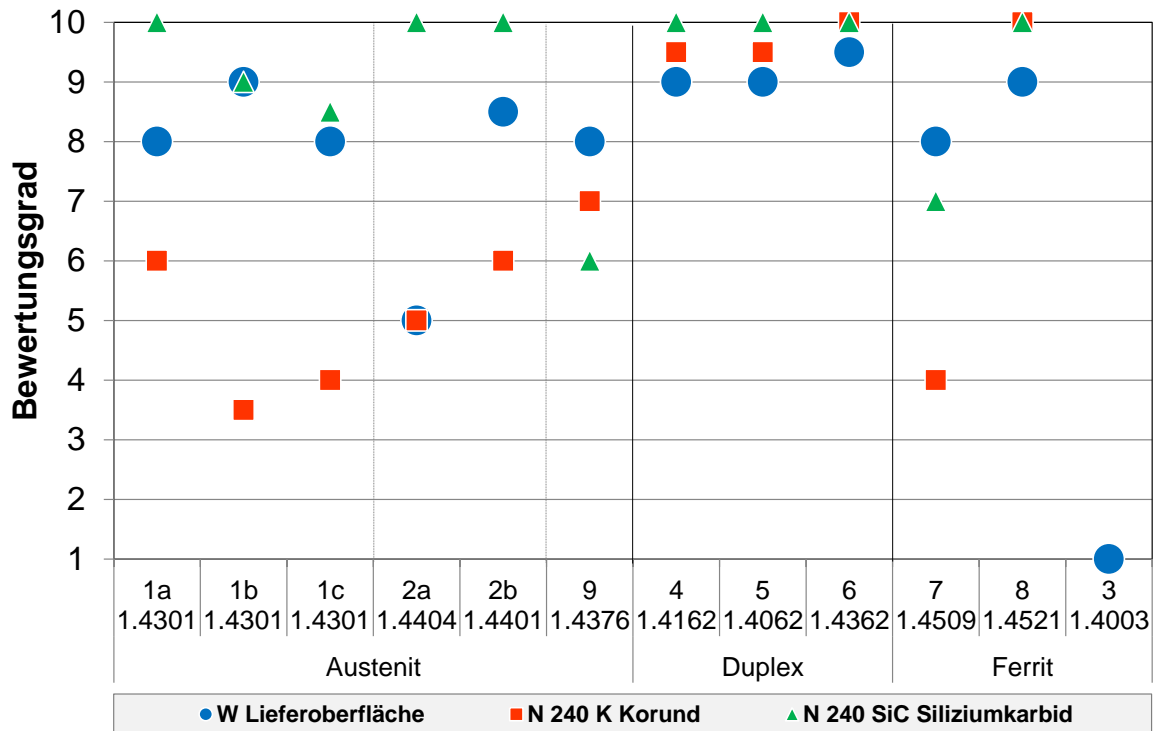


Abb. 50: Bewertungsgrade nach 96h Salzsprühnebel; Legierungseinfluss und verschiedene Oberflächenvarianten

Die mit unterschiedlichen Schleifmitteln trockengeschliffenen Oberflächen der Werkstoffcharge 1.4301 (1b) zeigten in der Salzsprühnebelprüfung deutliche Unterschiede im Korrosionsverhalten (Abb. 51). Die ermittelten Bewertungsgrade für die mit Korundschleifmittel geschliffen Varianten waren hinsichtlich der Körnung nicht konsistent. So war ausgehend von Körnung P60 (TS 60 K) mit feiner werdender Körnung bis TS 160 K zunächst eine Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit durch höhere Bewertungsgrade dokumentierbar. Bei noch feinerem Schleifmittel TS 240 K hingegen verschlechterte sich das Korrosionsverhalten dann wieder deutlich auf einen Bewertungsgrad von 5. Ein signifikanter Unterschied im Korrosionsverhalten ist auch zu der Variante in derselben Körnung P240 als Siliziumkarbid-schleifmittel TS 240SiC festzustellen, dieser zeigte mit Bewertungsgrad 10 eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit.

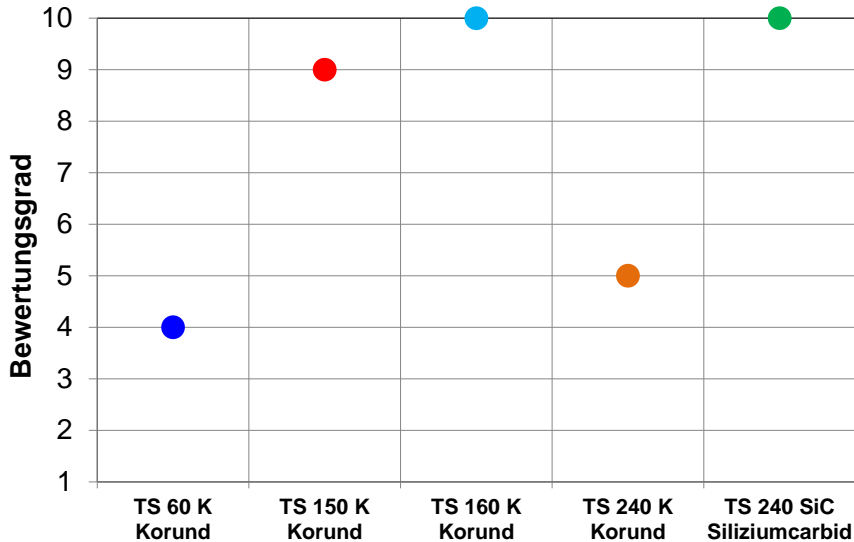


Abb. 51: Bewertungsgrade nach 96h Salzsprühnebel; verschiedene Trockenschliffvarianten des Werkstoffs 1.4301 (1b)

Der Einfluss unterschiedlicher Schleifmittel im Nassschliffverfahren auf die Korrosionsbeständigkeit im Salzsprühnebelversuch, ist für die drei Werkstoffe 1.4301 (1b, 1c) und 1.4401 (2b) untersucht worden und die ermittelten Bewertungsgrade in Abb. 52 dargestellt.

Es ist erkennbar, dass sich die schon für die Trockenschliffe zuvor festgestellten signifikanten Unterschiede für Korund- und Siliziumkarbidschleifmittel auch bei den Nassschliffvarianten bestätigten. Während die beiden Siliziumkarbidschleife in Körnung P180 (N 180 SiC) und P240 (N 240 SiC) mit Bewertungsgraden zwischen 8 und 10 hervorragende Korrosionsbeständigkeiten zeigten, war für die mit Korund geschliffenen Varianten N 240 K signifikant schlechtere Bewertungsgrade zu verzeichnen. Die mit Zirkonkorund im Vergleich sehr grob geschliffene Oberfläche N 40 Zk wies die schlechteste Korrosionsbeständigkeit und die geringsten Bewertungsgrade auf.

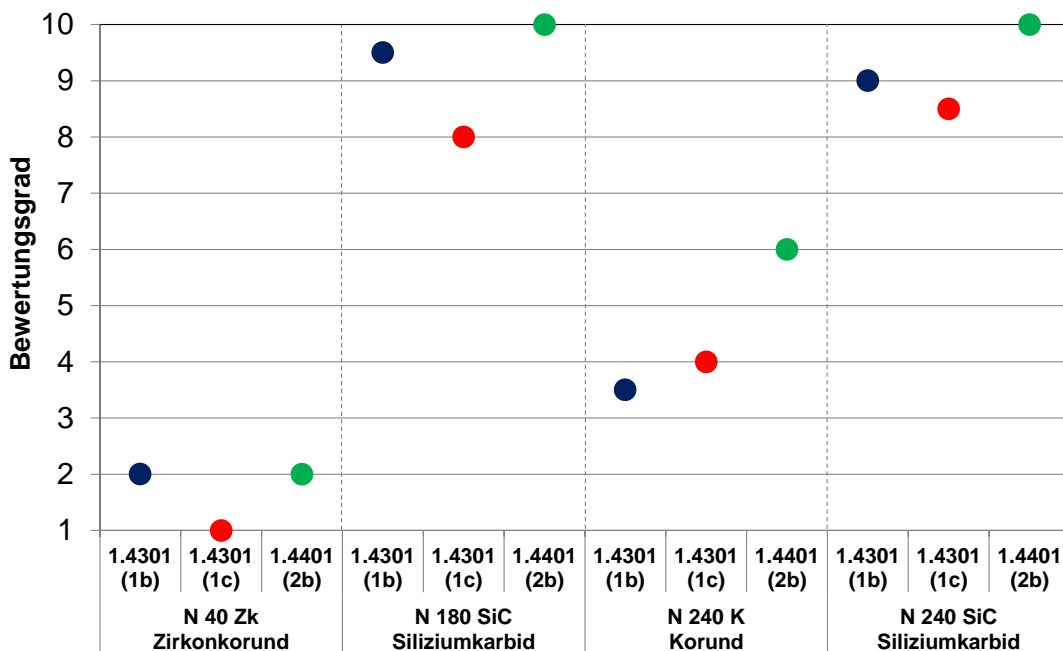


Abb. 52: Bewertungsgrade nach 96h Salzsprühnebel; verschiedene Nassschliffvarianten der Werkstoffe 1.4301 (1b und 1c) und 1.4401 (2b)

6.2 Einfluss Feuchtlagerungsdauer

Der Einfluss der Feuchtlagerung auf die Korrosionsbeständigkeit in der Salzsprühnebelprüfung ist für die zuvor gezeigten Nassschliffe in drei Zeitabstufungen überprüft worden und in Abb. 53 dargestellt. Es ist allgemein festzustellen, dass mit einer Feuchtlagerung eine Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit einhergeht. Besonders die mit Siliziumkarbidschleifmittel bearbeiteten Proben *N 180 SiC* und *N 240 SiC* waren bereits nach 48 Stunden mit Bewertungsgraden ≥ 8 in einem korrosionsbeständigen Zustand. Jedoch ist erkennbar, dass ohne Feuchtlagerung auch diese Proben noch schlechtere Bewertungsgrade aufwiesen. Diese Feststellungen waren bei den Werkstoffchargen des 1.4301 (1b und 1c) besonders deutlich, beim 1.4401 (2b) aufgrund der schon guten Bewertungsgrade bei 0 h nicht signifikant ausgeprägt.

An den mit dem Korundschleifmittel bearbeiteten Proben *N 240 K*, waren ausgeprägte Korrosionserscheinungen nach der Salzsprühnebelprüfung feststellbar. Es konnte dabei ein geringfügiger Einfluss der Feuchtlagerungsdauer für die Werkstoffchargen 1.4301 (1b) und 1.4401 (2b) festgestellt werden, für die Werkstoffcharge 1.4301 (1c) waren kaum eine Änderung der Korrosionsbeständigkeit aufgrund der Feuchtlagerung zu verzeichnen.

Für die grob geschliffen Varianten *N 40 Zk* waren die stärksten Korrosionserscheinungen nach der Salzsprühnebelprüfung zu beobachten. Hier konnte durch die Feuchtlagerung nur eine marginale Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit erzielt werden. Selbst nach 144 h Feuchtlagerung waren nur Bewertungsgrade von ≤ 3 zu verzeichnen.

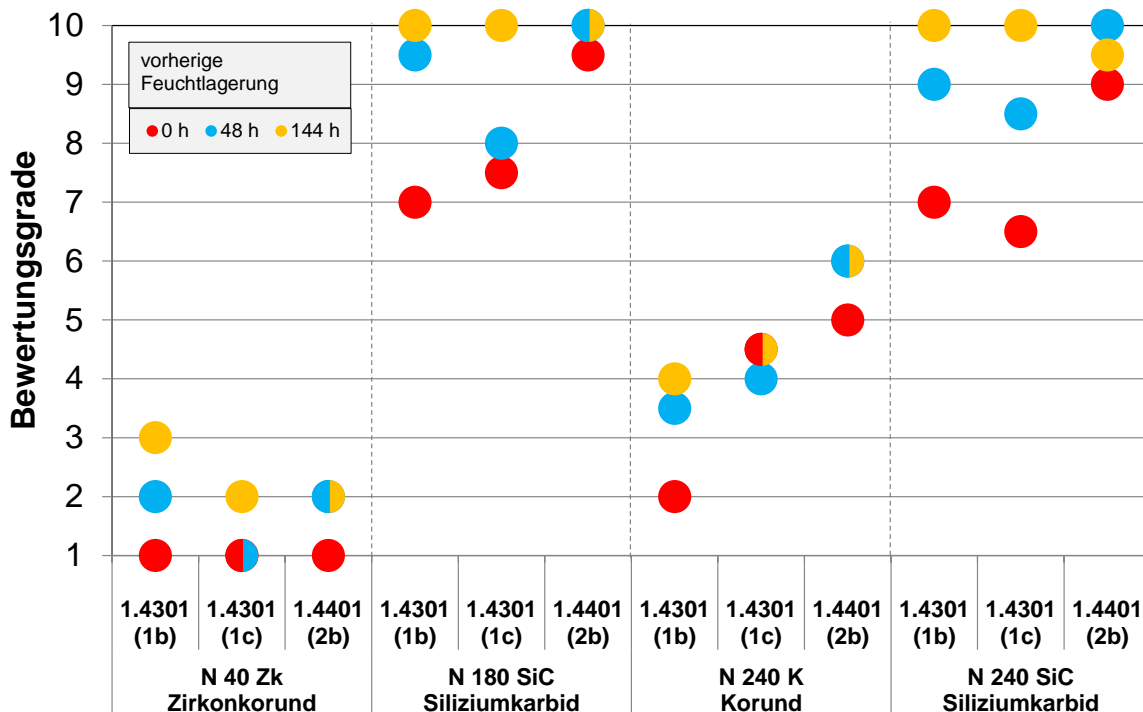


Abb. 53: Bewertungsgrade nach 96h Salzsprühnebel; Einfluss der Feuchtlagerung verschiedener Nassschliffvarianten der Werkstoffe 1.4301 (1b und 1c) und 1.4401 (2b)

6.3 Einfluss Schweißnahtnachbearbeitung

Der Einfluss unterschiedlicher Schweißnahtnachbearbeitungsverfahren wurde an den Werkstoffen 1.4301 (1d) und 1.4404 (2c) analog zu Abschnitt 5.7 durchgeführt. Da hier eine Ermittlung von Bewertungsgraden nicht zielführend wäre, sondern vielmehr die Ausprägung der Korrosionserscheinungen nach der Salzsprühnebelprüfung von Bedeutung war, wurde auf eine Bewertung nach [8] verzichtet. Die KorroPads sind in Abb. 54 dargestellt. Die Proben in der kaltgewalzten Ausgangsoberfläche blieben korrosionsfrei. Die Proben auf denen die Anlauffarben verblieben waren zeigten im Bereich der Wärmeeinflusszone und auch im Schweißnahtbereich selbst Korrosionserscheinungen. Bei der verschliffenen Oberflächenführung waren großflächige Korrosionserscheinungen vorhanden. Eine Nachbehandlung mittels Glasperlenstrahlen konnte für den Werkstoff 1.4301 (1d) eine deutliche Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit des Schweißnahtbereiches erzielen, hier waren nur an wenigen Stellen im Bereich des Schweißnahtendes Korrosionsansätze feststellbar. Beim Werkstoff 1.4404 (2c) war ebenfalls eine Verbesserung durch das Glasperlenstrahlen erkennbar, jedoch waren im Bereich des Schweißnahtendes deutlich mehr Korrosionsansätze vorhanden, als beim Werkstoff 1.4301 (1d). Durch die Nachbearbeitung mit Beizen und Passivieren konnte die ursprüngliche Korrosionsbeständigkeit beider Werkstoffe wiederhergestellt werden und die Proben blieben in der Salzsprühnebelprüfung korrosionsfrei.







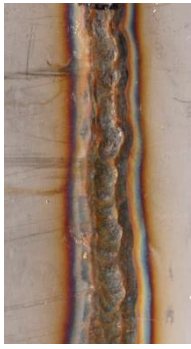



Werkstoffe	Oberflächenzustände				
	2B kaltwalz	mit Anlauffarben	mechanisch verschliffen	Glasperlen gestrahlt	gebeizt+ passiviert
1.4301 (1d)					
1.4404 (2c)					

Abb. 54: Einfluss verschiedener Schweißnahtnachbearbeitungsmethoden auf das Korrosionsverhalten in der Salzsprühnebelprüfung

7 Ergebnisse Freibewitterung

Die Bewertungsgrade der Proben, die nach 12 monatiger Auslagerung in Stadt- und maritimen Klima ermittelt wurden sind in Abb. 55 dargestellt. Für die aus dem abgeschlossenen AiF-Forschungsvorhaben 16049 N/1 [6] entnommen Bestandsproben, wurden für den Oberflächenzustand Lieferzustand *W* die Bewertungsgrade aus den damaligen Untersuchungen übernommen, diese Werkstoffe sind in Abb. 55 mit * gekennzeichnet.

Nach Auslagerung im Stadtklima sind auf allen Proben leichte und für Freibewitterungsversuche übliche Verunreinigungen (Staub, organische Partikel) auf den Probenoberflächen vorhanden. Bis auf den Werkstoff 1.4003 (3), der schon nach kurzer Zeit Korrosionserscheinungen zeigte, blieben die übrigen Werkstoffe in einem korrosionsfreien Oberflächenzustand und hatten lediglich einzelne geringfügige Verfärbungen.

In maritimer Atmosphäre konnte ein akzeptables optisches Erscheinungsbild nur für den molybdänlegierten ferritischen Werkstoff 1.4521 (8) sowie für den Duplex Werkstoff 1.4062 (5) festgestellt werden. Die molybdänlegierten Werkstoffe 1.4404 (2a) und 1.4401 (2b) zeigten hingegen ein unerwartet schlechtes Korrosionsverhalten an dieser Exposition, welches vergleichbar mit den molybdänfreien Werkstoffen 1.4301 und 1.4509 ist. Der ferritische Werkstoff 1.4003 (3) ist bei dieser Korrosionsbelastung nicht beständig und zeigte im Vergleich der Werkstoffe die stärkste Lochkorrosion die z.T. schon in eine flächige Korrosion überging.

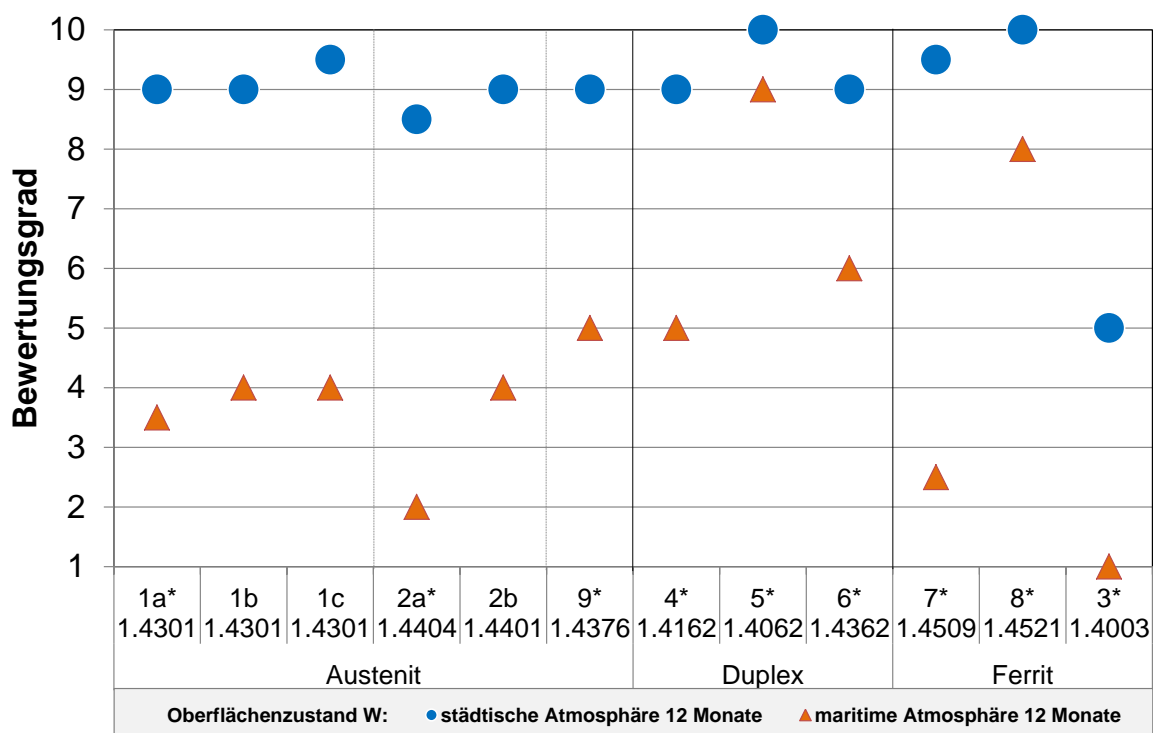


Abb. 55: Bewertungsgrade verschiedener Werkstoffe in Oberflächenausführung *W* nach 12 monatiger Auslagerung in städtischer- bzw. maritimer Atmosphäre; aus AiF 16049 N/1 [6] übernommene Bewertungsgrade mit * gekennzeichnet

8 Überführung in die Praxis

8.1 Feldversuche

Für die Feldversuchsphase zur Überführung der KorroPad Prüfmethode in die Praxis konnten insgesamt 26 Firmen und Institutionen gewonnen werden. Der überwiegende Teil der Firmen stammte aus den Reihen des projektbegleitenden Ausschusses, weitere Teilnehmer mit für das Vorhaben interessanten Anwendungen der Prüfmethode, konnten u.a. auf den diversen Vortragsveranstaltungen akquiriert werden. Wie in Abb. 56 zu erkennen ist, waren die Feldversuchsteilnehmer über das gesamte Bundesgebiet verteilt, eine Firma hatte ihren Sitz im Ausland.



Abb. 56: Übersichtskarte der Feldversuche

Insgesamt wurden den an den Feldversuchen teilnehmenden Firmen über 10.000 KorroPads zur Verfügung gestellt. Die KorroPad Prüfungen wurden dabei von den Firmen eigenständig durchgeführt und anschließend Feedbacks zu den Versuchen gegeben. Eine vorher entwickelte und den KorroPads beigelegte Handlungsanweisung, eine Verfahrensbeschreibung sowie ein Dokumentationsblatt wurde den Firmen zur Verfügung gestellt. Diese Unterlagen wurden nach Rückmeldungen der Unternehmen laufend angepasst und optimiert (Anlage A1 – A3).

Die an den Feldversuchen teilnehmenden Firmen sind in den verschiedensten Branchen tätig (Abb. 57). Somit konnte das Verfahren durch die Feldversuche in einer großen Anwendungsbreite überprüft werden. Neben der metallverarbeitenden Industrie, dem Maschinen- und Anlagenbau sowie der Medizintechnik, beteiligte sich auch ein Stahlhersteller an den Feldversuchen. Ebenso waren Firmen beteiligt, die chemische Produkte (Schleifmittel, Beiz- und Reinigungsmittel) zur Metallbearbeitung produzieren. Auch Sachverständige nahmen an den Feldversuchen teil und setzten die Prüfmethode für ihre Gutachtertätigkeiten ein. Nicht nur für die praktische Überprüfung von Produktionsprozessen oder Produkten wurde das KorroPad Verfahren in den Feldversuchen eingesetzt, sondern auch für die Ausbildung in

Berufsschulen, Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalten, an Universitäten und Hochschulen.

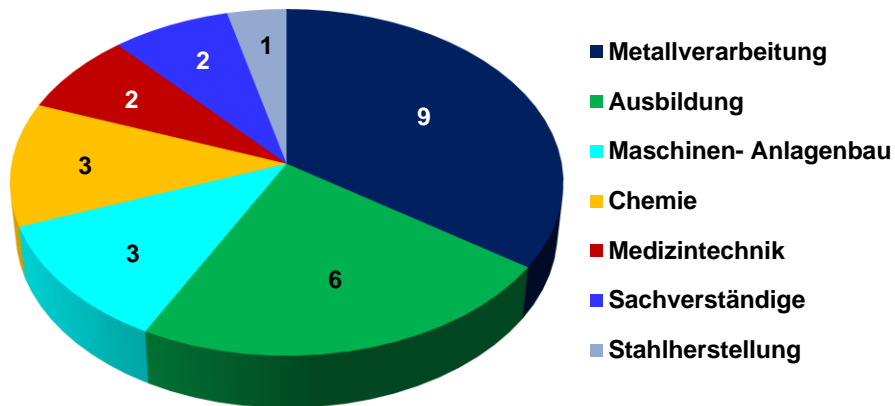


Abb. 57: Verteilung der Feldversuche auf unterschiedliche Branchen

In Tab. 4 ist eine nach Branchen gegliederte Übersicht über die Firmen gegeben, die an den Feldversuchen teilgenommen haben. Dort sind die geprüften Werkstoffe ebenso aufgeführt, wie der Einsatzzweck.

Einen großen Anteil bildeten 9 Firmen (6 davon kmU) aus der metallverarbeitenden Industrie, hierbei sowohl Metallbaubetriebe, Befestigungsmittelhersteller sowie Türbeschlags- und Kettenhersteller. Die untersuchten Werkstoffe waren dabei die weit verbreiteten Standardaustenite 1.4301 und 1.4404, in einem Fall ein ferritischer Stahl. Die Firma *Saage Treppenbau*, einer der Ideengeber des Forschungsvorhabens, führte umfangreiche Untersuchungen im Rahmen der Wareneingangs- und Produktkontrolle durch und gab wertvolle Hinweise zum Handling und zur Haltbarkeit. Als weiteres Beispiel für erfolgreiche und sehr umfangreiche Feldversuche werden im Folgenden die Untersuchungen der Firma *HOPPE AG* beschrieben, die eine Studie mit den KorroPads im Rahmen einer Technikerarbeit durchführten. Dabei wurde das KorroPad Prüfverfahren in der gesamten Produktionskette von unterschiedlichen Türbeschlagsbauteilen eingesetzt. Von der Qualitätskontrolle am Wareneingang über die die Produktüberwachung bei unterschiedlichen Fertigungszuständen und der Optimierung von Oberflächenzuständen bis hin zur korrosionsoptimierten Verpackungsdesign fand das KorroPad dabei Anwendung. Aus diesen umfangreichen Untersuchungen kamen viele Informationen und Hinweise zur Anwendung und Praxistauglichkeit der KorroPads, die auch im Rahmen der projektbegleitenden Ausschusssitzungen den Mitgliedern vorgestellt wurden. So wurde die runde Form der KorroPads für verschiedene komplexe Geometrien angepasst und die Haltbarkeit der KorroPads durch eine Optimierung der Verpackung verbessert.

Im Bereich Maschinen- und Anlagenbau konnten drei Firmen (1 kmU) für die Feldversuche gewonnen werden, die u.a. Produkte für die Öl- und Gasförderung, die Automatisierungstechnik und Präzisionsrohrsysteme herstellen. Die hier untersuchten Werkstoffe waren neben den Standardstählen 1.4307/1.4404 auch höherlegierte Werkstoffe 1.4435 und sehr hochlegierte Nickelbasislegierungen. Aber auch Chrom-Manganstähle und ein Edelstahl-

gusswerkstoffe wurden mit dem KorroPad Prüfverfahren untersucht. Sehr umfangreiche Untersuchungen wurden dabei von der Firma *Dockweiler AG* durchgeführt, die das KorroPad Verfahren für die Wareneingangskontrolle, Produktüberwachung und Qualifizierung neuer Fertigungsverfahren im eigenen QS Bereich vergleichend zu den dort üblichen elektrochemischen Standardprüfmethoden nach ASTM G61 einsetzte. Hier wurden aufgrund der sehr feinen Oberflächen in Verbindung mit hochlegierten Werkstoffen unterschiedliche KorroPad Zusammensetzungen und unterschiedliche Geometrien im praktischen Einsatz überprüft. Als Standard haben sich runde KorroPads mit der Zusammensetzung 1,0 % Kaliumhexacyanoferrat + 0,1M Natriumchlorid als geeignet erwiesen, Schwachstellen der Passivschicht aufzuzeigen. Auch die Firma *RK Rose+Krieger* führte umfangreiche Untersuchungen im Bereich der Wareneingangs und Produktkontrolle durch. Dabei kam der für verschiedene Bauteile verwendete Gusswerkstoff 1.4308 zum Einsatz. Es konnten wertvolle Hinweise zum Handling und zur Haltbarkeit gegeben werden.

Aus dem Bereich der Chemieindustrie sind ebenfalls drei Firmen in die Feldversuche involviert worden, die unterschiedliche Mittel, Oberflächen nichtrostender Stähle zu behandeln/zu bearbeiten, herstellen. So nahmen ein Hersteller von Schleifmitteln, ein Hersteller von Reinigungs- und Desinfektionslösungen sowie ein Beiz- und Elektropolierunternehmen an den Feldversuchen teil. Die Firma *VSM AG*, die auch viele der in den Parameterstudien verwendeten Schliffvarianten erzeugte, sei hier besonders erwähnt. Diese nutze das KorroPad Verfahren neben den eigenen Produktqualifizierungen der Schleifmittel auch erfolgreich für interne Schulungsmaßnahmen und im beratenden Außendienst.

Der Stahlhersteller *Outokumpu Nirosta*, einer der Lieferanten von Untersuchungsmaterial für die Parameterstudien, konnte ebenfalls für die Feldversuchsphase des Vorhabens gewonnen werden und führte umfangreiche Untersuchungen mit dem KorroPad Verfahren vergleichend mit einem Filterpapiertest nach Kiya auf kaltgewalzten Blechen durch. Dabei wurden 10 Bänder des Werkstoffes 1.4301 sowie 2 Bänder des Werkstoffes 1.4509 untersucht. Die KorroPad Ergebnisse liegen dabei in einem vergleichbaren Bereich zu den an der BAM durchgeführten Parameterstudien. Das KorroPad Prüfverfahren bietet im Vergleich zur Filterpapiertechnik einige Vorteile bzgl. des Handlings. Aber auch verschiedene Anmerkungen/Anregungen hinsichtlich der Form, Größe und Haltbarkeit konnten durch diese Untersuchungen erarbeitet werden.

Im Bereich der Korrosionssachverständigen nahmen zwei Firmen an den Feldversuchen teil, die das KorroPad Verfahren für Ihre Schadensbegutachtungen einsetzen. Der *TÜV Süd Chemie Service* nutze das KorroPad dabei überwiegend im Bereich der chemischen Industrie, für Behälter und Rohre und führte umfangreiche Versuche durch. Das KorroPad Verfahren wurde u.a. mit dem EC-Pen Verfahren vergleichend eingesetzt und zeigte in vielerlei Hinsicht Vorteile in der Anwendung auf. Insbesondere die zerstörungsfreie Methodik des KorroPads hat für diesen Bereich Vorteile.

Zwei Firmen aus der Medizintechnik konnten zum Ende des Vorhabens für Feldversuche gewonnen werden und setzten das Verfahren auf medizintechnischen Produkten ein. Dafür wurden überwiegend martensitische Güten geprüft. Es wurden von der Fa. *Medicon* mehrere Konzentrationen einbezogen, um die Beständigkeit der martensitischen Stähle zu berücksichtigen. Die Standardzusammensetzung schien jedoch auch hierfür optimal geeignet zu sein.

Tab. 4: Feldversuchsteilnehmer nach Branchen gegliedert

Metallverarbeitende Industrie			
Firma	kmU	Verwendete Werkstoffe	Einsatzzweck
Bernhard Krabbe GmbH & Co. KG	kmU	1.4301	Warenein- und -ausgangskontrolle Rohr, Stab, Blech
Fischerwerke GmbH & Co. KG	kein kmU	1.4301, 1.4404	Produktüberwachung, Warenein- und -ausgangskontrolle
Fuchs Schraubenwerk GmbH	kmU	k.A.	Produktüberwachung, Befesti- gungstechnik
Goldmann Metallbau	kmU	1.4301	Warenein- und - ausgangskontrolle, Rohr, Stab, Blech
Hilti AG	kein kmU	1.4301, ferriti- scher Stahl	Produktüberwachung Befesti- gungstechnik.
Hoppe AG	kein kmU	1.4301	Produktüberwachung, Warenein- und -ausgangskontrolle, Türbe- schläge
Ketten Wälder GmbH	kmU	k.A.	k.A.
Saage Treppenbau GmbH & Co. KG	kmU	1.4301, 1.4307, 1.4404	Warenein- und -ausgangskontrolle
Schlittenbauer Metallbau Schlosserei	kmU	1.4404	Warenein- und -ausgangskontrolle
Maschinen- und Anlagenbau			
Baker Hugues GmbH	kein kmU	CrMn Stähle Ni-Basis Leg.	Warenein- und -ausgangskontrolle
Dockweiler AG	kmU	1.4307, 1.4404, 1.4435	Produktüberwachung, Warenein- und -ausgangskontrolle, ver- gleichsuntersuchungen
RK Rose+Krieger GmbH	kein kmU	1.4308 (Guss)	Produktüberwachung, Warenein- und -ausgangskontrolle
Chemie			
DrNüsken Chemie GmbH	kmU	1.4404	Produktkontrolle
Henkel Beiz- und Elektropolier- technik GmbH & Co.KG	kmU	k.A.	Prozessüberwachung Beizen
VSM AG	kein kmU	1.4301, 1.4571, 1.4404	Prozessüberwachung Schleifen, Ausbildung
Medizintechnik			
Medicon eG	k.A.	1.4021	Prozessüberwachung Passivieren
OHST Medizintechnik AG	k.A.	martensitische Stähle	medizintechnische Produkte
Sachverständige			
MHW Ingenieur- und Sachverständi- genbüro	kmU	1.4301, 1.4571	Schadensanalyse
TÜV Süd Chemie Service GmbH	kein kmU	1.4571	Schadensanalyse, Vergleichs- untersuchungen
Stahlhersteller			
Outokumpu Nirosta GmbH	kein KmU	1.4301, 1.4509	Produktüberwachung, Vergleichs- untersuchungen

Das KorroPad Verfahren wurde neben den industriellen Anwendungen auch sehr erfolgreich im Bereich der Aus- und Weiterbildung von Berufsschülern, Metallbauern, Schweißfachleuten und Studenten eingesetzt. Die einstimmige Meinung der teilnehmenden Institutionen (Tab. 5) war, dass die Einflüsse auf die Passivschichtausbildung nichtrostender Stähle durch das Verfahren auf einfache Weise sichtbar gemacht werden kann und somit wird das Verständnis für den Werkstoff und dessen Verarbeitung gefördert wird.

Tab. 5: Feldversuchsteilnehmer aus dem Bereich Ausbildung

Ausbildung	
Berufliche Schulen Bretten	Ausbildung im Metallbau
HTWG Hochschule Konstanz	Ausbildung Studenten Werkstofftechnik
OvGU Otto-von-Guericke Universität Magdeburg	Ausbildung Studenten
SLV München	Ausbildung / Weiterbildung Metallbau
Technische Universität Chemnitz	Ausbildung Studenten
Handwerkskammer Schweinfurt	Ausbildung / Weiterbildung Metallbau

8.2 Produktlistung im BAM Webshop

Das KorroPad Prüfverfahren wurde am 22.07.2013 im BAM Webshop als Prüfmittel eingestellt und kann seitdem dort unter www.webshop.bam.de bestellt werden. Aufgrund der Erfahrungen in den Feldversuchen wurde ein Verpackungskonzept umgesetzt, was eine Haltbarkeit der KorroPads von mindestens 3 Monaten, jedoch meist deutlich darüber hinaus gewährleistet. Die KorroPads werden dafür zu je 10 Stück zwischen Folienträgern in Labor-tüten verpackt (1 VE) und je nach Bestellmenge mehrere dieser VE in evakuierbaren Kunststoffbehältern gelagert. Dadurch wird eine Kontamination der KorroPads durch Mikroorganismen in der Umgebungsluft beim Öffnen der Kunststoffbehälter minimiert. Für den Versand werden die KorroPads in gedämmten Styropor Versandboxen mit Kühlakku verpackt (Abb. 58). Dies gleicht eventuelle Temperaturspitzen auf dem Versandweg aus.

Als BAM Produkte sind die KorroPads als „Starter-Kit“ und als „Nachfüll-Kit“ bestellbar. Die Starter-Kit Variante enthält neben den KorroPads selbst noch folgendes Zubehör:

- Handschuhe
- Spatel
- Dokumentationsblatt
- Handlungsanweisung

Beim Nachfüll-Kit ist die Handlungsanweisung aber kein weiteres Zubehör enthalten.

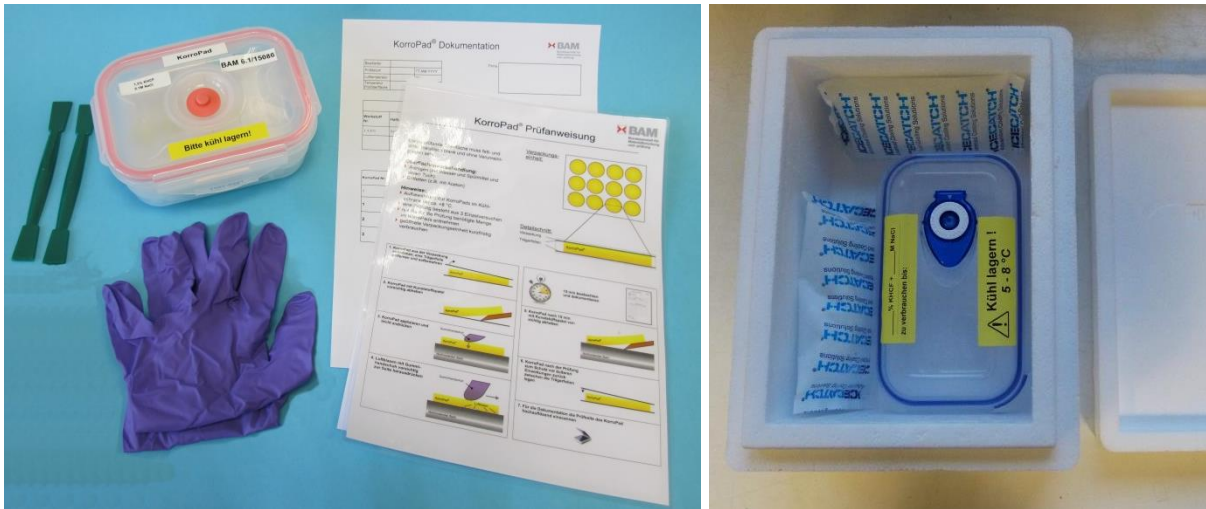


Abb. 58: Inhalt (Starter-Kit) und Verpackungskonzept für KorroPads

Seit Anfang 2014 werden verschiedene Packungsgrößen angeboten, was sehr gut bei den Anwendern ankam. Bis zum Projektende 31.08.2013 gingen Bestellungen über knapp 2.000 KorroPads ein, die sich entsprechend Tab. 6 auf die Packungsgrößen verteilten. Bis zur Fertigstellung dieses Berichtes im November 2014 steigerte sich die Anzahl auf insgesamt ca. 6.700 Stück.

Tab. 6: KorroPad Bestellungen über BAM Webshop bis Projektende 31.08.2014

KorroPad Packungsgröße	Bestellungen
Starter Kit: 100 Stk.	13
Starter Kit: 50 Stk.	5
Starter Kit: 20 Stk.	15
Nachfüll Kit: 30 Stk.	3

8.3 Anwendung in weiteren Forschungsvorhaben

Das KorroPad Verfahren wurde von der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg im Rahmen des dort durchgeführten AiF Forschungsvorhabens mit der Nummer IGF 16636 BG Qualitätsbeurteilung von Schneidwaren und Tafelgeräten mittels elektrochemischer Rauschanalyse [13] ergänzend zu weiteren Untersuchungs- und Prüfmethoden eingesetzt.

Es wurden werkstoffseitig die Werkstoffe 1.4116, 1.4034 und 1.4021, die sich in ihrer chemischen Zusammensetzung unterschieden, mit verschiedenen Wärmebehandlungen, welche das Gefüge deutlich beeinflussen und unterschiedlichen Auslagerungsbedingungen systematisch untersucht. Im Rahmen des Projektes wurden neben dem elektrochemischen Rauschen und dem Wechsellagerungsversuch noch die KorroPad-Prüfung und die elektrochemische

potentiodynamische Reaktivierung (EPR) als neuartige Verfahren zusätzlich angewendet. Dabei wurde gezeigt, dass sich das KorroPad mit spezifischen Vor- und Nachteilen ebenfalls für eine Qualitätsbewertung eignet und das EPR-Verfahren deutliche Vorteile bei der Bewertung des Einflusses der Wärmebehandlung auf die Korrosionsbeständigkeit bietet. Mithilfe der Methode des elektrochemischen Rauschens konnte der deutlich positive Effekt einer Feuchtauslagerung auf die Stabilität der Passivschicht, der positive Effekt optimierter Wärme- und Oberflächenbehandlungen und ebenso der negative Effekt von mangelhafter Wärme und Oberflächenbehandlungen nachgewiesen werden. Im Sinne einer Qualitätskontrolle sind damit optimale Voraussetzungen für eine Produkt- und Produktionsüberwachung gegeben.

9 Diskussion der Ergebnisse

Die Wirkungsweise der KorroPad Zusammensetzung konnte durch elektrochemische Untersuchungen und eine praktische Prüfung der Korrosionsanzeigen beschrieben werden. Der Indikator Kaliumhexacyanoferrat (III) wirkt dabei auf das Redoxsystem und verschiebt mit zunehmender Konzentration das Redoxpotential in anodische Richtung. Eine Erhöhung der Kaliumhexacyanoferrat-Konzentration bewirkt in der praktischen Anwendung eine intensivere Blaufärbung der Korrosionsanzeigen sowie eine stärkere Gelbfärbung des transparenten KorroPads. Häufigkeit und Größe der Korrosionsanzeigen werden durch die Kaliumhexacyanoferrat-Konzentration nur unwesentlich beeinflusst. Das im KorroPad als Aktivator hinzugesetzte Chlorid verschiebt mit steigender Konzentration das Redoxpotential durch Erhöhung der Leitfähigkeit weiter in anodische Richtung und wirkt sich in der praktischen Anwendung signifikant auf Größe und Häufigkeit der Korrosionsanzeigen des KorroPads aus. Durch höhere Chloridgehalte wird gleichzeitig das kritische Korrosionspotential der nichtrostenden Stahloberfläche in kathodische Richtung verschoben, wodurch im Zusammenwirken mit dem Redoxsystem in Abhängigkeit von der Legierungszusammensetzung ggf. eine Korrosionsinitiierung provoziert werden kann. Daher sollten die Redoxpotentiale immer unterhalb der typischen kritischen Lochkorrosionspotentiale liegen, um bei der Prüfung möglichst nur Schwachstellen und Imperfektionen der Passivschicht zu aktivieren und somit eine oberflächenspezifische Prüfung zu erreichen. In Abb. 59 sind zum einen ausgewählte Stromdichte-Potentialkurven abgebildet, deren kritische Lochkorrosionspotentiale signifikant unterscheiden und zum anderen die Redoxpotentialbereiche, die ein KorroPad je nach Zusammensetzung aufweist. Die für die Parameterstudien verwendete Standardzusammensetzung der KorroPads (1,5 % Kaliumhexacyanoferrat + 0,1M NaCl) hat ein Prüfpotential von ca. $300 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$. Dieses Potential ist negativer, als die für die meisten der verwendeten Werkstoffe bestimmten kritischen Lochkorrosionspotentiale (vgl. Abb. 21 aus Abschn.4.2). Lediglich die Werkstoffe 1.4003 (3) und 1.4376 (9) liegen mit Werten $<200 \text{ mV}_{\text{Ag}/\text{AgCl}}$ deutlich unterhalb des Redoxpotentials des Standard KorroPads. Vergleicht man die Redoxpotentialbereiche der KorroPads, die durch die Konzentrationsvariationen im Rahmen des Vorhabens überprüft wurden (Abb. 59, rot hinterlegter Bereich), liegt das E_{krit} des Werkstoffs 1.4003 negativer als das geringste Redoxpotential bei Verwendung von

0,1 % Kaliumhexacyanoferrat. Eine Prüfung des Werkstoffs 1.4003 ist mit den im Rahmen des Vorhabens verwendeten Prüfmittel Konzentrationen daher überkritisch und als nicht geeignet anzusehen. Der Grund für die fehlenden Korrosionsanzeigen bei der praktischen Prüfung (vgl. Abb. 32 aus Abschn. 5.2) ist vermutlich auf die unzureichende Einfärbung von Korrosionsanzeigen aufgrund des geringen Anteils an Kaliumhexacyanoferrat zurückzuführen.

Für die Standardaustenite liegt das Prüfpotential genau in einem Bereich, wo das kritische Lochkorrosionspotential noch nicht erreicht wird, jedoch bei einigen Proben (1a, 2a) schon metastabile Korrosionsprozesse ablaufen. Das ist in den SPK der Chargen 1a und 2a durch leicht schwankende Stromdichten im μA -Bereich erkennbar. Diese Korrosionsprozesse werden bei der KorroPad Prüfung gezielt detektiert.

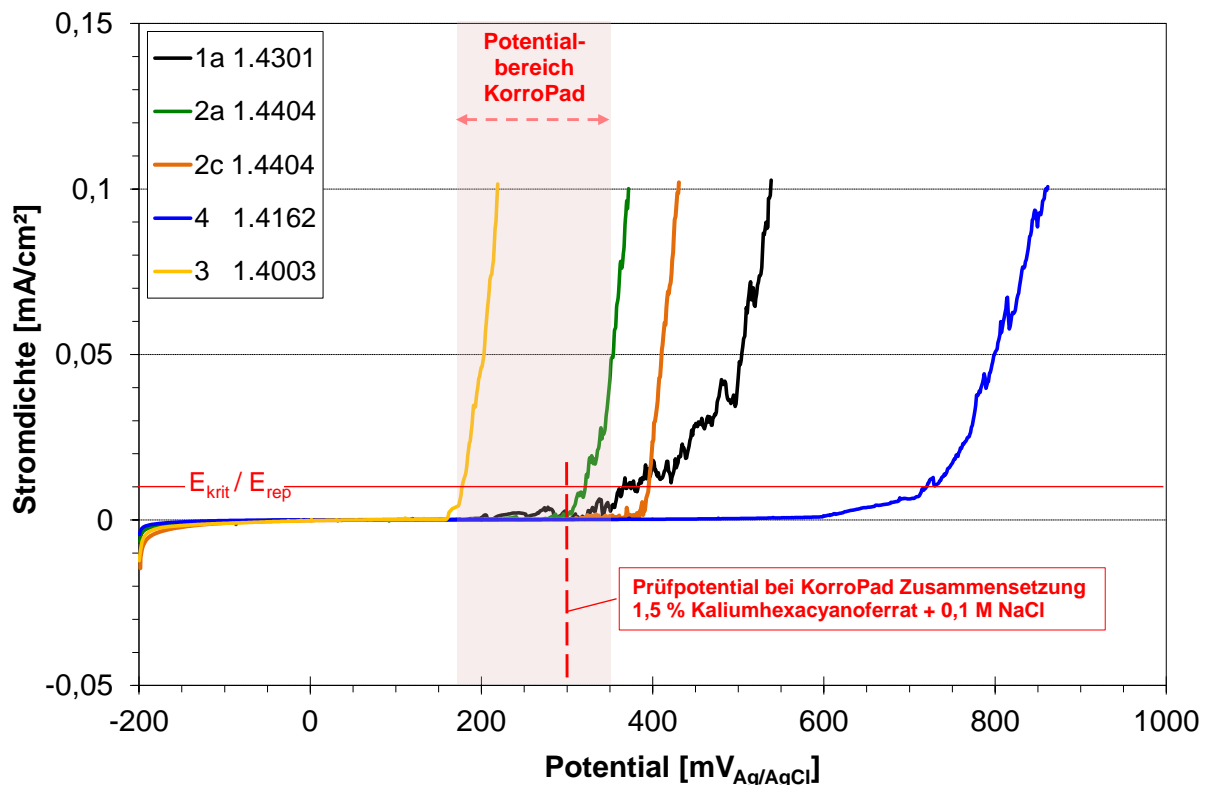


Abb. 59: Typische Stromdichte-Potentialkurven aus potentiodynamischen Versuchen und Redoxpotentiallagen der KorroPads

Betrachtet man die zeitlichen Verläufe der Freien Korrosionspotentiale, die während der KorroPad-Prüfung auf Proben des Werkstoffes 1.4301 (1b) mit unterschiedlichem KorroPad Prüfergebnis aufgezeichnet wurden, kann ein signifikanter Unterschied im Kurvenverlauf festgestellt werden (Abb. 60). Die Probe mit einer SiC-nassgeschliffenen *N 240 SiC* Oberflächenausführung zeigte hier einen stabilen, asymptotischen Kurvenverlauf mit Potentialwerten um +260 mV. Das KorroPad blieb ohne Korrosionsanzeigen und dokumentiert eine stabile Passivschicht. Bei der Probe mit einer Korund-nassgeschliffenen Oberflächenausführung *N 240 K* war hingegen ein sehr unstabiler Potentialverlauf zu beobachten. Im KorroPad

zeigten sich hier viele Korrosionsanzeigen, was auf eine korrosionsanfällige Oberfläche schließen lässt. Die Potentialeinbrüche können dabei den blauen Korrosionsanzeigen konkret zugeordnet werden. Im direkten Vergleich wurde auf die gleiche Probe *N 240 K* ein KorroPad aufgelegt, welches nur NaCl jedoch kein Kaliumhexacyanoferrat enthielt. Bei diesem Versuch konnte ein stabiler, asymptotischer Potentialverlauf vergleichbar mit *N 240 SiC* beobachtet werden. Die Potentialwerte lagen durch die fehlende Polarisationswirkung des Kaliumhexacyanoferrats um ca. 130 mV negativer.

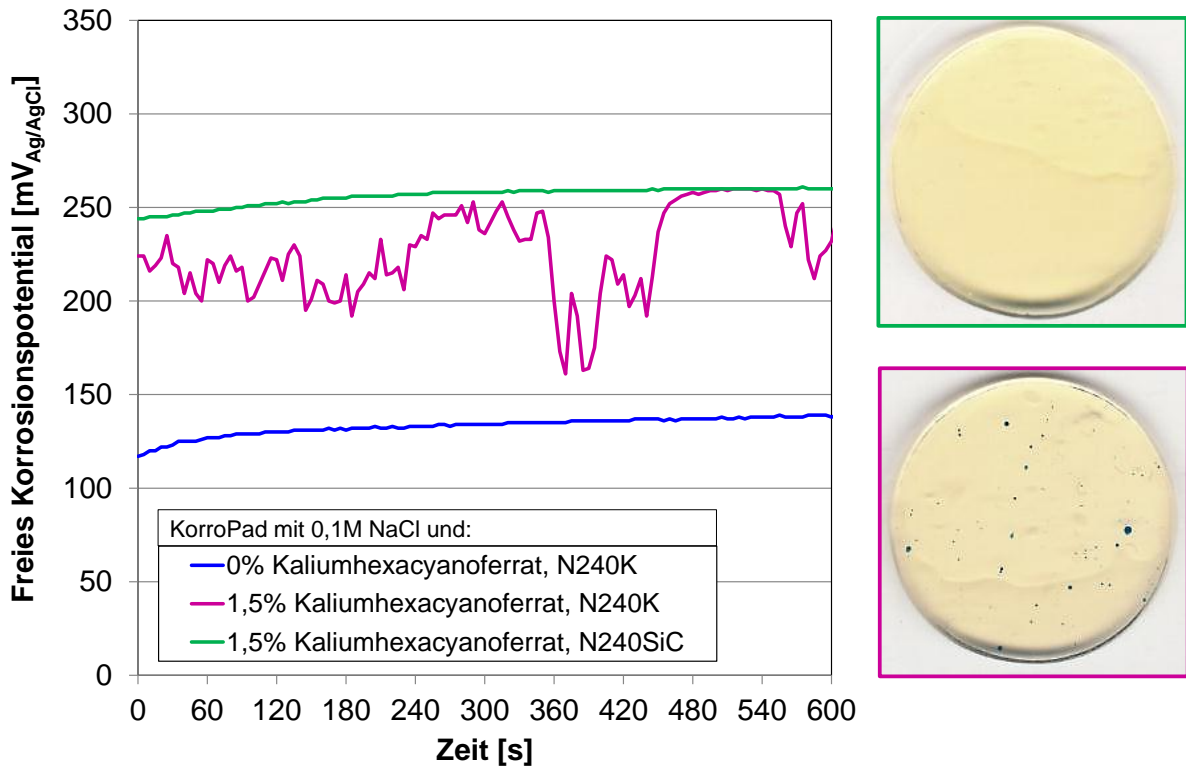


Abb. 60: Verlauf der Freien Korrosionspotentiale E_{cor} über die Prüfdauer von 10 min bei KorroPad-Prüfung auf Werkstoff 1.4301 (1b) und praktische Korrosionsanzeigen (rechts)

Das KorroPad Prüfverfahren wirkt vorrangig oberflächenspezifisch und eignet sich in einem Temperaturbereich von +5 bis +50 °C zur vergleichenden Prüfung von nichtrostenden Stahloberflächen hinsichtlich ihres Passivierungsverhaltens. Dabei hat die Prüftemperatur einen Einfluss auf die Häufigkeit und Größe der Korrosionsanzeigen im KorroPad, der bei korrosionsanfälligen Oberflächen besonders signifikant ist. Dies ist in Abb. 61 anhand der Größenverteilung einer korrosionsanfälligen Oberfläche (*N 240 K*) deutlich erkennbar. Während bei Temperaturen bis ≤ 15 °C hier nur wenige Korrosionsanzeigen gezählt werden konnten, die zudem nur geringe maximale Objektflächen $< 0,5$ mm² aufwiesen, konnten bei höheren Prüftemperaturen 20-50 °C sowohl steigende Anzahlen an Korrosionsanzeigen als auch deutlich größere Objektflächen ermittelt werden.

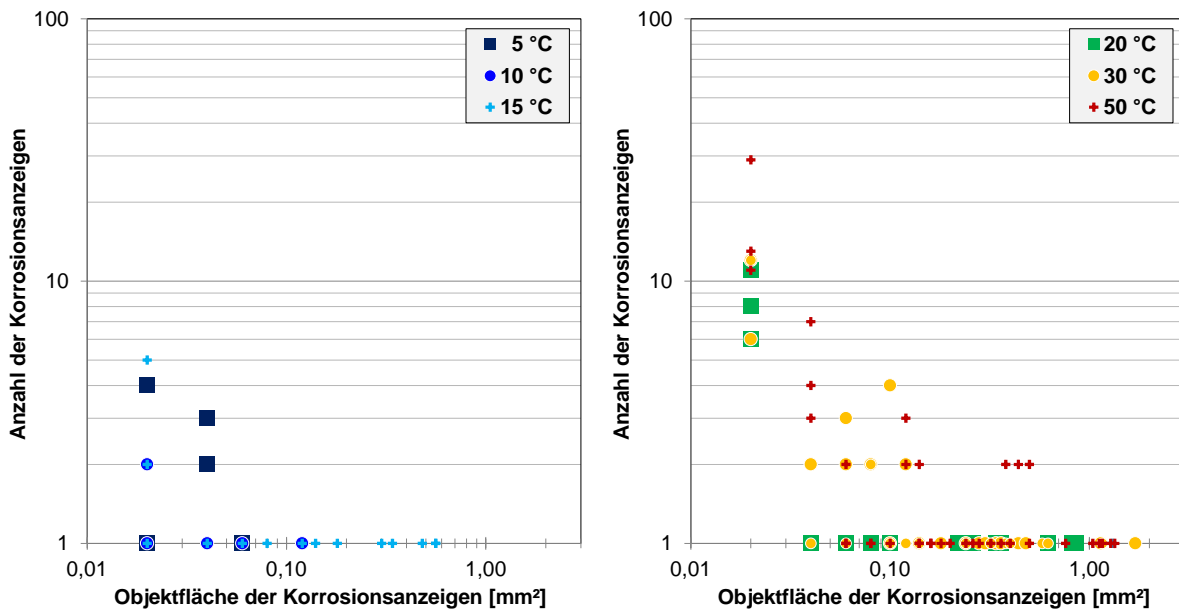


Abb. 61: Größenverteilung der Korrosionsanzeigen in den KorroPads bei verschiedenen Temperaturen; Werkstoff 1.4301 (1b), korrosionsanfällige Oberflächenvariante N240K

Die Temperatur nimmt sowohl Einfluss auf das Redoxsystem, als auch auf die Kinetik der ablaufenden Prozesse und beeinflusst somit maßgeblich die Menge des Ladungsumsatzes. Für untereinander vergleichbare Ergebnisse sollte daher die Temperatur möglichst konstant gehalten werden. Ab einer Prüftemperatur von +15 °C und bei weiter steigender Temperatur war eine deutlichere Differenzierung zwischen korrosionsbeständigen und –anfälligen Oberflächen möglich. Bei Temperaturen >30 °C wurde tendenziell überkritisch geprüft und auch an korrosionsbeständigen Oberflächen einige Korrosionsanzeigen hervorgerufen. Daraus lässt sich ein bevorzugter Prüfbereich zwischen +15 und +30 °C ableiten.

Dass der Feuchtlagerung mechanisch bearbeiteter Oberflächen eine große Bedeutung zukommt ist bekannt [10-12]. Eine den Erwartungen entsprechende, korrosionsbeständige Oberfläche ist in der Lage innerhalb von 48 Stunden Feuchtlagerung eine ausreichend stabile Passivschicht auszubilden. Dagegen enthält die Passivschicht einer korrosionsanfälligen Oberfläche auch nach 144 Stunden Feuchtlagerung noch viele Imperfektionen. Um eine sichere Differenzierung von korrosionsanfälligen und korrosionsbeständigen Oberflächen zu gewährleisten, muss dem Werkstoff nach einer mechanischen Oberflächenbehandlung zunächst Zeit für die Ausbildung einer Passivschicht unter vergleichbaren Randbedingungen bzgl. Feuchte und Temperatur gegeben werden.

Bei der Signifikanzprüfung in der Salzsprühkammer konnte eine sehr gute Korrelation zur KorroPad Prüfung festgestellt werden (Abb. 62). Die Korrosionsanzeigen der KorroPads konnten dabei in vier Bereiche eingeteilt werden, die in Abb. 62 farblich hinterlegt sind.

Für Oberflächen, die Oberflächenanteile der Korrosionsanzeigen $\leq 0,01$ % aufwiesen, konnte ein ebenso unauffälliges Korrosionsverhalten in der Salzsprühnebelprüfung mit Bewertungsgraden ≥ 8 festgestellt werden. Bei Oberflächenanteilen der KorroPad Anzeigen zwischen 0,01 und 0,1 % wurden in der Salzsprühnebelprüfung neben überwiegend guten Bewertungsgraden auch einige nur mittleren Bewertungsgrade von 5 erreicht. Ab Oberflächenan-

teilen von >0,10 % sind mit weiter steigendem Oberflächenanteil neben mittleren auch vermehrt sehr niedrige Bewertungsgrade von 2 zu verzeichnen, gute Bewertungsgrade >8 sind dann nicht vorhanden. Oberhalb von Oberflächenanteilen von 1,00 % können überwiegend schlechte Bewertungsgrade vorgefunden werden.

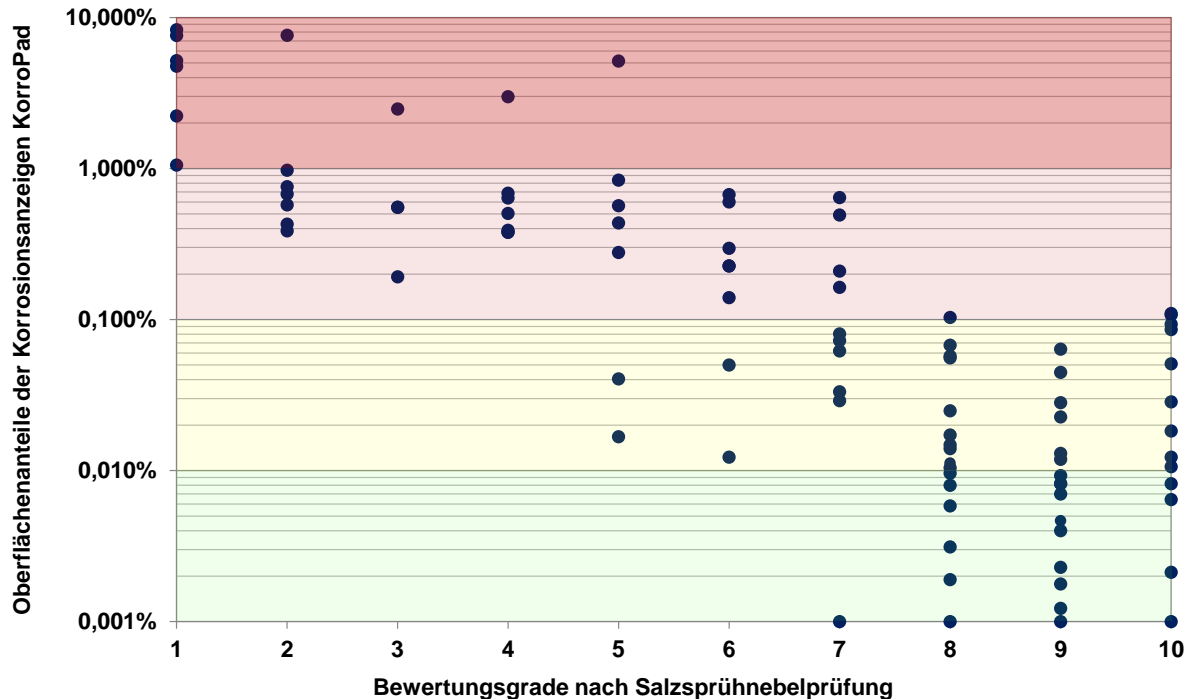


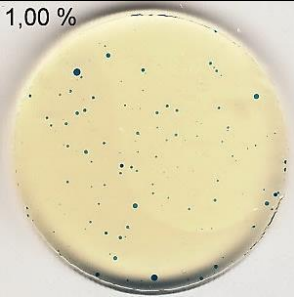



Abb. 62: Korrelation zwischen Bewertungsgrad nach Salzsprühnebelprüfung und Oberflächenanteil der KorroPad Prüfung

Aus den vier definierten Bereichen von Oberflächenanteilen (Tab. 7) können Kennzahlen und damit verbundene Anforderungen an die Passivschichtstabilität definiert werden, die als Orientierungshilfe bzgl. der Bewertung in der Praxis dienen kann. So können an Oberflächen, die bei einer KorroPad Prüfung mit Kennziffer **0** abschnitten, hohe Anforderungen an die Passivschichtstabilität gestellt werden. Oberflächen mit einer Kennziffer von **1** sind ausreichend für mittlere Anforderungen an die Passivschichtstabilität, hier kann es u.U. bei höherer korrosiver Beanspruchung der Oberflächen zu geringfügigen Korrosionserscheinungen kommen, die das optische Erscheinungsbild ggf. beeinträchtigen. Oberflächen mit Kennziffer **2** sind nur noch für Anwendungen mit geringen Anforderungen an die Passivschichtstabilität geeignet, da diese Oberflächen bei korrosiver Beanspruchung sehr wahrscheinlich Korrosionserscheinungen zeigen werden, die zu optischen Beeinträchtigungen führen. Auf Oberflächen mit Kennziffer **3** ist keine ausreichend korrosionsschützende Passivschicht vorhanden, die Oberflächen sind für Anwendungen mit optischen Anforderungen nicht geeignet.

Eine Allgemeingültigkeit haben die oben definierten Bereiche jedoch nicht, da sie ausschließlich bezogen auf die Ergebnisse der Salzsprühnebelprüfung sind. Die Einteilung in solche Bereiche ist bei unterschiedlichen Fragestellungen und Anforderungen ggf. anzupassen. Ein allgemeingültiges Akzeptanzkriterium bzgl. der Anzeigehäufigkeit kann aus diesen Gründen nicht definiert werden. Das KorroPad Prüfverfahren ist ein Vergleichstest.

Tab. 7: Bereiche der Oberflächenanteile von KorroPad Korrosionsanzeigen und daraus resultierende Anforderungen an die Passivschichtstabilität

Oberflächenanteil der Korrosionsanzeigen im KorroPad	Kennziffer	Anforderungen an die Passivschichtstabilität	Beispiele für KorroPad Prüfergebnisse
$\leq 0,01 \%$	0	hohe Anforderungen	0,01 % 
0,01 – 0,1 %	1	mittlere Anforderungen	0,10 % 
0,1 – 1,0 %	2	geringe Anforderungen	1,00 % 
$>1,0 \%$	3		10,00 % 

10 Ausblick

Im Vorhaben konnte der Einfluss der Oberflächenausführung auf die Passivschichtausbildung und somit auf das Korrosionsverhalten nichtrostender Stähle sehr deutlich herausgearbeitet werden. Besonders auffällig waren die auch schon im Vorgängervorhaben 15554 N/1 [6] verwendeten Korundschleifmittel, die bei gleicher Korngröße signifikant schlechtere Korrosionsbeständigkeiten zeigten, als die vergleichbaren Siliziumkarbid-schleifmittel. Auch verschiedene Mitgliedsunternehmen des projektbegleitenden Ausschusses sowie weitere Unternehmen in der metallverarbeitenden Industrie berichteten verstärkt über ein ungewöhnliches Korrosionsverhalten von Bauteilen und Profilen aus austenitischen nichtrostenden Stählen nach Korundschleifprozessen unter eigentlich unkritischen Einsatzbedingungen. Diese Problematik hat bisher noch keine Beachtung in wissenschaftlichen Untersuchungen gefunden, weshalb der bisherige Stand des Wissens für eine Aufklärung der Ursachen nicht ausreicht. Zur Klärung dieser praxisrelevanten Fragestellung hat der projektbegleitende Ausschuss die Forschungsstelle gebeten eine Forschungsprojektskizze zu formulieren. Diese ist auf der letzten Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses vorgestellt und einer Ausformulierung zugestimmt worden. Der entsprechende Forschungsantrag befindet sich bereits in der Antragsphase.

Das beantragte 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. 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 werden die existenzbedrohenden Kosten, die durch Reklamationen und mehrfache, extrem zeitaufwändige Nacharbeiten an den fertigen Installationen entstehen, eingespart. 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.

Literatur

- [1] Burkert, A., Lehmann, J., Wilbert, H.-P. (2010), Edelstahl Rostfrei - Korrosionserscheinungen beim Einsatz im Außenbereich. Stahlmarkt 10.2010: 34-36
- [2] Lohmeyer, S.: Edelstahl - Belastungsgrenzen, verbreitete Fehleinsätze und ihre Korrekturen (Teil 2), Galvanotechnik, 87 (1996) 10, S. 3256-3265
- [3] Herbsleb, G. and Schwenk, W. (1967), Untersuchungen über einen Lochfraßindikator-test an Chrom- und Chrom-Nickel-Stählen in chlorid- und bromidhaltigen Lösungen. Materials and Corrosion, 18: 685–694
- [4] ASTM A 380: 2006: Standard Practice for Cleaning, Descaling, and Passivation of Stainless Steel Parts, Equipment and Systems
- [5] AiF Forschungsvorhaben; IGF-Nr.: 16049 N/1: Technische und wirtschaftliche Alternativen zu den klassischen nichtrostenden, austenitischen Stählen unter atmosphärischen Einsatzbedingungen
- [6] AiF Forschungsvorhaben; IGF-Nr.: 15554 N/1: Beeinträchtigung der Funktionalität nichtrostender Stähle durch unzureichende Passivschichtausbildung
- [7] DIN EN ISO 9227: 2012: Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären – Salzsprühnebelprüfungen
- [8] 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.
- [9] DIN EN ISO 8565: 2011: Metalle und Legierungen - Korrosionsversuche in der Atmosphäre - Allgemeine Anforderungen an Freibewitterungsversuche.
- [10] Bierwirth, M.: Bedeutung der elementaren Teilreaktionen der Korrosion bei Entstehung des elektrochemischen Rauschens, Dissertation, Shaker Verlag , Aachen 2007
- [11] H.S. Klapper, A. Burkert, A. Burkert, J. Lehmann, and A.L. Villalba (2011) Influence of Surface Treatments on the Pitting Corrosion of Type 304 Stainless Steel by Electrochemical Noise Measurements. Corrosion: July 2011, Vol. 67, No. 7, pp. 075004-1-075004-13.
- [12] Burkert, A., Klapper, H. S. and Lehmann, J. (2013), Novel strategies for assessing the pitting corrosion resistance of stainless steel surfaces. Materials and Corrosion, 64: 675–682.
- [13] AiF Forschungsvorgaben; IGF-Nr.: 16636 BG: Qualitätsbeurteilung von Schneidwaren und Tafelgeräten mittels elektrochemischer Rauschanalyse

11 Gegenüberstellung der Ergebnisse zu den vorgegebenen Zielen

Das Ziel, eine praxistaugliche Nachweismethode zur Beschreibung der Passivschichtstabilität zu entwickeln, sowie diese wissenschaftlich und technisch zu beschreiben, konnte durch die durchgeführten umfangreichen Parameterstudien erfolgreich umgesetzt werden. Es konnten dabei Randbedingungen und Grenzen der Anwendbarkeit definiert werden. Durch eine breit angelegte Feldversuchsstudie konnte zudem die Praxistauglichkeit der Methode überprüft werden. Durch den erfolgreichen Verlauf der Parameterstudien und des positiven Feedbacks aus den Feldversuchen, wurde das KorroPad Verfahren am Markt eingeführt und kann seit Juli 2013 kommerziell über den BAM Webshop bezogen werden.

Die Ergebnisse wurden für den projektbegleitenden Ausschuss aufbereitet und etwa halbjährlich innerhalb von sechs Sitzungen vorgestellt. Der Wissenstransfer zu den Zielgruppen, insbesondere in den Bereich des Metallbaus erfolgte durch zahlreiche Vorträge im Bereich der Landesverbände, der Metallinnungen, der Handwerkskammern und Weiterbildungsseminaren der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei sowie durch Veröffentlichung in Tagungsbanden. Im April 2014 erschien zudem eine BAM Pressemitteilung zum KorroPad Verfahren, die häufig zitiert wurde. Im Folgenden sind die Veröffentlichungen explizit aufgeführt:

Veröffentlichungen:

- 1) Heyn, A., Babutzka, Martin (Vortragender), Rosemann, P.:
Qualitätsbeurteilung von Schneidwaren mittels KorroPad
Poster: GfKORR-Jahrestagung 2012
Frankfurt am Main, Germany, 06.11.2012 bis 07.11.2012
- 2) Burkert, A., Klapper, H.S., Lehmann, J.:
Novel strategies for assessing the pitting corrosion resistance of stainless steel surfaces
Zeitschriftenartikel: *Materials and corrosion* 64 (2013) 8, 675-682; Wiley-VCH Verl.;
Hrsg.: Gesellschaft für Korrosionsschutz. ISSN 0947-5117, 1521-4176
- 3) Rosemann, P., Müller, Th., Babutzka, M., Heyn, A.:
Qualitätsbewertung von Schneidwaren durch Kurzzeit-Korrosionsprüfung
Zeitschriftenartikel: *HTM - journal of heat treatment and materials* 68 (2013) 5, 224-235;
Hanser. ISSN 0341-101x, 1867-2493
- 4) Lehmann, J., Burkert, A., Bohlmann, T., Burkert, A.:
KorroPad - Entwicklung eines Prüfverfahrens
Beitrag zu einem Tagungsband: GfKORR-Jahrestagung 2013 - Untersucht, geprüft und dann... Lässt sich Korrosion vorhersagen? (2013), 134-142; DECHEMA; Hrsg.: GfKORR - Gesellschaft für Korrosionsschutz e.V., Frankfurt/M. ISBN 978-3-935406-52-9
- 5) Rosemann, P., Müller, Th., Babutzka, M. and Heyn, A. (2013),
Influence of microstructure and surface treatment on the corrosion resistance of martensitic stainless steels 1.4116, 1.4034, and 1.4021. *Materials and Corrosion*.
doi: 10.1002/maco.201307276

- 6) Burkert, A., Lehmann, J.:
Schnell testen
Zeitschriftenartikel: M&T-Metallhandwerk : die ganze Technik der Metallverarbeitung 116
(2014) 4, 14-16; Coleman. ISSN 1436-0446
- 7) Burkert, A., Heyn, A., Ebell, G., Lehmann, J., Poltavtseva, M.:
Innovative Methoden in der Korrosionsforschung an der BAM
Beitrag zu einem Tagungsband: 15. Sommerkurs Werkstoffe und Fügen am Institut für
Werkstoff- und Fügetechnik (2014), 53-64; Hrsg.: Otto-von-Guericke-Universität Magde-
burg. ISBN 978-3-940961-85-3
- 8) Müller, T., Heyn, A., Babutzka, M. and Rosemann, P. (2014),
Examination of the influence of heat treatment on the corrosion resistance of martensitic
stainless steels. Materials and Corrosion. doi: 10.1002/maco.201407861
- 9) BAM Pressemitteilung 2014/6 KorroPad: Neuer Schnelltest für Oberflächen nichtrostender
Stähle. <http://www.bam.de/de/aktuell/presse/pressemitteilungen>

Vorträge:

- 1) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J., Fischer, J.:
Korrosionsverhalten nichtrostender Stähle - Einfluss von Legierungsgehalt, Verarbeitung
und Oberflächenausführung
Vortrag: Böhler-Welding Schweiss-Tagung
Giswil, Switzerland, 03.11.2011 bis 04.11.2011
- 2) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J., Fischer, J.:
Korrosionsschäden an nichtrostenden Stählen
Vortrag: Bauteilschädigung durch Korrosion
Cologne, Germany, 30.11.2011 bis 01.12.2011
- 3) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J.:
Korrosionsverhalten nichtrostender Stähle
Vortrag: Seminar Korrosion und Korrosionsschutz
Magdeburg, Germany, 08.12.2011
- 4) Burkert, A. (Vortragender), Burkert, A., Lehmann, J.:
Nichtrostende Stähle - Einfluss von Legierungsgehalt, Verarbeitung und Oberflächenaus-
führung
Vortrag: Unternehmensführungslehrgang
Gengenbach, Germany, 23.02.2012
- 5) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J.:
Legierungszusammensetzung oder Oberfläche - was bestimmt die Beständigkeit nicht-
rostender Stähle
Vortrag: 10. Bielefelder Werkstofftag, Edelstahl Rostfrei - Auswahl, Verarbeitung und
Anwendung
Bielefeld, Germany, 22.03.2012

- 6) Lehmann, J. (Vortragender), Burkert, A.:
Oberfläche oder Legierungsgehalt - was bestimmt die Beständigkeit nichtrostender Stähle?
Vortrag: ISC 2012 (Internationale Sales Conference)
Hannover, Germany, 30.05.2012, 06.06.2012, 11.06.2012, 25.06.2012
- 7) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J.:
Bedingungen für den schadensfreien Einsatz von nichtrostenden Stählen
Vortrag: Nichtrostende Stähle - Eigenschaften und Anwendungen
Düsseldorf, Germany, 30.05.2012 bis 31.05.2012
- 8) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J., Burkert, A.:
Detektion korrosionsempfindlicher Oberflächen nichtrostender Stähle durch die Verarbeiter
Vortrag: AK Prüf- und Untersuchungsverfahren und Corrosion Monitoring, GfKORR
Mannheim, Germany, 10.10.2012 bis 11.10.2012
- 9) Burkert, A.:
Korrosionsschäden an nichtrostenden Stählen
Vortrag: DGM Fortbildungsseminar "Bauteilschädigung durch Korrosion".
Cologne, Germany, 28.11.2012 bis 29.11.2012
- 10) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J.:
Verfleckungen auf nichtrostenden Stählen - eine aktuelle Herausforderung
Vortrag: 1. Praktikertagung im Metallhandwerk: Fachgerechte Auswahl und Verarbeitung von Edelstahl Rostfrei
Trier, Germany, 30.12.2012
- 11) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J.:
Einfluss von Legierungsgehalt, Verarbeitung und Oberflächenausführung auf das Korrosionsverhalten nichtrostender Stähle
Vortrag: 19. Schweinfurter Schweißseminar
Schweinfurt, Germany, 22.02.2013
- 12) Burkert, A. (Vortragender), Burkert, A., Lehmann, J.:
Entwicklung eines Korrosionsprüfverfahrens für Verarbeiter nichtrostender Stähle
Vortrag: Forschungsseminar des MDZWP 2013
Magdeburg, Germany, 04.04.2013
- 13) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J.:
Aktueller Kenntnisstand zum Thema Verfleckungen bei nichtrostenden Stählen
Vortrag: Praktikertagung Edelstahl Rostfrei 2013
Dresden, Germany, 18.04.2013
- 14) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J.:
Korrosionsverhalten von Metallen
Vortrag: Metallbautechnisches Kolloquium
Esslingen am Neckar, Germany, 06.05.2013 bis 08.05.2013

- 15) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J.:
Angepasste Prüf- und Untersuchungsverfahren für das Bauwesen, Teil 1: Korrosionsverhalten nichtrostender Stähle und Aluminium
Vortrag: GfKORR Arbeitskreis Korrosion im Bauwesen
Helgoland, Germany, 03.06.2013
- 16) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J., Burkert, A.:
Detektion korrosionsempfindlicher Oberflächen nichtrostender Stähle durch die Verarbeiter
Vortrag: Kursleiter-Fortbildung 2013
Nürnberg, Germany, 30.09.2013 bis 01.10.2013
- 17) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J., Burkert, A.:
Detektion korrosionsempfindlicher Oberflächen nichtrostender Stähle durch die Verarbeiter
Vortrag: Landesfachtagung des DVS LV-Thüringen
Luisenthal, Germany, 10.10.2013 bis 11.10.2013
- 18) Burkert, A. (Vortragender), Heyn, A., Ebell, G., Müller, Th., Mietz, J., Fischer, J.:
Innovative Methoden in der Korrosionsforschung an der BAM
Vortrag: Offenes Kolloquium anlässlich des 65. Geburtstages von Prof. Dr.-Ing. Bernd Is-ecke
Heidelberg, Germany, 25.10.2013
- 19) Burkert, A. (Vortragender), Heyn, A.:
Reinigung zum Erhalt des Korrosionsschutzes bei nichtrostenden Stählen in Schwimmhallen
Vortrag: 40. Sitzung des Kuratoriums Reinigungsmittel der Deutschen Gesellschaft für das Badewesen e. V.
Frankfurt am Main, Germany, 06.11.2013
- 20) Lehmann, J. (Vortragender), Burkert, A., Burkert, A., Bohlmann, T., Müller, Th.:
KorroPad - Entwicklung eines Prüfverfahrens
Vortrag: GfKORR-Jahrestagung 2013
Frankfurt am Main, Germany, 12.11.2013 bis 13.11.2013
- 21) Burkert, A.:
Korrosionsschäden an nichtrostenden Stählen
Vortrag: DGM Fortbildungsseminar "Bauteilschädigung durch Korrosion".
Cologne, Germany, 27.11.2013 bis 28.11.2013
- 22) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J.:
Korrosionsverhalten nichtrostender Stähle
Vortrag: Seminar Korrosion und Korrosionsschutz, Otto von Guericke Universität
Magdeburg, Germany, 16.01.2014

- 23) Burkert, A. (Vortragender), Burkert, A., Lehmann, J.:
Bestimmung der Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle durch die Verarbeiter
Vortrag: Praktikertagung im Metallhandwerk - Fachgerechte Auswahl und Verarbeitung von Edelstahl Rostfrei.
Kaiserslautern, Germany, 06.03.2014
- 24) Burkert, A. (Vortragender), Lehmann, J.:
Werkstoffauswahl und Verarbeitung von Edelstahl Rostfrei
Vortrag: Jahrestagung DVS BV Leipzig
Leipzig, Germany, 27.03.2014
- 25) Burkert, A. (Vortragender), Burkert, A., Lehmann, J.:
Detektion korrosionsempfindlicher Oberflächen nichtrostender Stähle durch die Verarbeiter
Vortrag: Marketing-Ausschusssitzung der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei.
Düsseldorf, Germany, 03.04.2014
- 26) Burkert, A. (Vortragender), Heyn, A., Ebell, G., Lehmann, J., Poltavtseva, M.:
Innovative Methoden in der Korrosionsforschung an der BAM
Vortrag: 15. Sommerkurs "Werkstoffe und Fügen" am Institut für Werkstoff- und Füge-
technik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Magdeburg, Germany, 12.09.2014 bis 13.09.2014

12 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

12.1 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	21.10.2011
		A2 – A5 Vorstellung des Projektstandes und Diskussion zur weiteren Vorgehensweise	24.05.2012 13.11.2012 12.06.2013 12.12.2013
		A6 Abschlusspräsentation und Diskussion aller erzielter Ergebnisse	13.05.2014

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 OvGU Magdeburg	08.12.2011
		B2 Vortrag DGM Fortbildung	30.11.2011
		B3 Vortrag Schweißtagung Giswil	03.11.2011
		B4 Vortrag Unternehmensführungslehrgang Gengenbach	23.02.2012
		B5 Vortrag 10. Werkstofftag, Bielefeld	22.03.2012
		B6 Vortrag ISC, Hannover (4 Veranstalt.)	30.05.2012 06. + 11. + 25.06.2012
		B7 Vortrag NIRO Eigenschaften u Anwendung, Düsseldorf	30.05.2012
		B8 Vortrag GfKORR AK Monitoring, Mannheim	11.10.2012
		B9 Vortrag DGM Fortbildung Köln	28.11. – 29.11.2014
		B10 Vortrag Praktikertagung Trier	30.12.2012
		B11 Vortrag 19. Schweißseminar Schweinfurt	22.02.2013
		B12 Vortrag MDZWP Magdeburg	04.04.2013
		B13 Vortrag Praktikertagung Dresden	18.04.2013
		B14 Vortrag Metallbautechnisches Kolloquium Esslingen	06.05. – 08.05.2013
		B15 Vortrag GfKORR AK Bau Helgoland	03.06.2013
		B16 Vortrag ISER Kursleiterfortbildung 2013 Nürnberg	30.09. – 01.10.2013
		B17 Vortrag Landesfachtagung DVS LV Thüringen Luisenthal	10.10. – 11.10.2013
		B18 Vortrag Offenes Kolloquium fkks Heidelberg	25.10.2013

	B19 Vortrag 40. Kuratoriumssitzung DGfDB Frankfurt/M.	06.11.2013
	B20 Vortrag GfKORR Jahrestagung 2013 Frankfurt/M.	12.11. - 13.11.2013
	B21 Vortrag DGM Fortbildung Köln	27.11. – 28.11.2013
	B22 Vortrag OvGU Magdeburg	16.01.2014
	B23 Vortrag Praktikertagung Kaiserslautern	06.03.2014
	B24 DVS Jahrestagung Leipzig	27.03.2014
	B25 Vortrag Marketing Ausschusssitzung Düsseldorf	03.04.2014
	B26 Vortrag MDZ Sommerkurs Magdeburg	12.09. – 13.09.2014

Maßnahme C

	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Prozessbe- gleitende Bera- tung von kmU	Produktentwicklung und	C1 Anleitung der kmU bei der Anwendung und Bewertung	2012-2014
	–weiterentwicklung,	C2 Betreuung Feldversuche, aktuell 21 teilnehmende Firmen	2013
	Verfahrensentwick- lung	C3 Beratung und Ergebnistransfer über bestehenden E-Mail-Verteiler	2011-2014

Maßnahme D**Veröffentlichung**

	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Veröffentlichung	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	D1 Poster GfKORR Jahrestagung 2012 Frankfurt/M.	2012
		D2 Veröffentlichung Materials and corrosion 64 (2013) 8, 675-682	2013
		D3 Tagungsband und Poster GfKORR Jahrestagung 2013 Frankfurt/M.	11/2013
		D4 Veröffentlichung HTM-journal of heat treatment and materials 68 (2013) 5, 224-235	2013
		D5 Veröffentlichung Materials and corrosion (2013) online verfügbar doi:10.1002/maco.201307276	2013
		D6 Veröffentlichung M&T Metallhandwerk 116 (2014) 4, 14-16	2014
		D7 Tagungsband 15. Sommerkurs Institut für Füge- und Werkstofftechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (2014), 53-64	2014
		D8 Veröffentlichung Materials and corrosion (2014) online verfügbar doi: 10.1002/maco.201407861	2014
		D9 BAM Pressemitteilung 2014/6	2014

12.2 Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit

Maßnahme E	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Weiterbildung/ Transfer der Projektergeb- nisse in die In- dustrie über Fachveranstal- tungen	Weiterbildung von Mitarbeitern der kmU ohne eigene For- schungskapazitäten	E1 Vorträge auf Seminaren der Informati- onsstelle Edelstahl – Rostfrei	2015
		E2 Vorträge im Rahmen von Veranstaltun- gen der GfKORR e.V.	2015
Maßnahme F	Ziel	Rahmen	Datum / Zeitraum
Prozessbe- gleitende Bera- tung von kmU	Einführung der Nach- weismethode in die Qualitätssicherung in Produktion und Ein- kauf	F1 Kompetenzzentren Edelstahl Rostfrei und interessierte Hersteller und Verar- beiter	2014-2016

Förderhinweis und Danksagung

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 17136 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.

Anlage A1



KorroPad Prüfanweisung

Die zu prüfende Oberfläche muss fett- und ölfrei, metallisch blank und ohne Verunreinigungen sein.

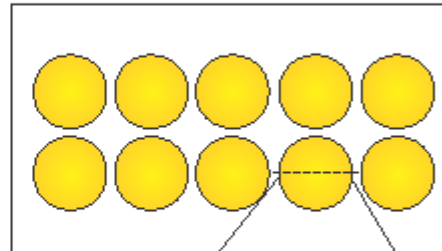
Oberflächenvorbehandlung:

- Reinigen (mit Wasser und Spülmittel und einem Tuch)
- Entfetten (z.B. mit Aceton)

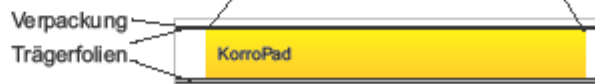
Hinweise:

- Aufbewahrung der KorroPads im Kühlschrank bei ca. +8 °C
- eine Prüfung besteht aus 3 Einzelversuchen
- nur die für die Prüfung benötigte Menge an KorroPads entnehmen
- KorroPads vor der Prüfung auf Umgebungstemperatur vortemperieren
- geöffnete Verpackungseinheit kurzfristig verbrauchen

Verpackungseinheit:



Detailschnitt:



<p>1.</p> <p>KorroPad aus der Verpackung entnehmen, eine Trägerfolie entfernen und aufbewahren</p>	
<p>2.</p> <p>KorroPad mit Kunststoffspatel vorsichtig abheben</p>	
<p>3.</p> <p>KorroPad applizieren und leicht andrücken</p>	
<p>4.</p> <p>Luftblasen mit Gummihandschuh vorsichtig zur Seite herausdrücken</p>	

	<p>15 min beobachten und dokumentieren</p>	
<p>5.</p> <p>KorroPad nach 15 min mit Kunststoffspatel vorsichtig abheben</p>		
<p>6.</p> <p>KorroPad nach der Prüfung zum Schutz vor äußeren Einwirkungen zurück zwischen die Trägerfolien legen</p>		
<p>7.</p> <p>Für die Dokumentation die Prüfseite des KorroPad hochauflösend einscannen</p>		

Anlage A2

KorroPad Dokumentation



Bearbeiter		
Prüfdatum		TT.MM.YYYY
Lufttemperatur		°C
Temperatur Prüfoberfläche		°C

Firma:

Beschreibung Prüfoberfläche			
Werkstoff Nr.	Halbzeug	Oberflächen-ausführung	Bemerkungen / Besonderheiten
1.4201	Stahl 4202	geschliffen R240	Versuch an Charge 1, neues Schleifband, hoher Anpressdruck

← Beispiel

Beschreibung Versuchsergebnis				
KorroPad Nr.	Prüfdauer	erste Anzeige nach:	Visuelles Erscheinungsbild der Anzeigen	Bemerkungen / Besonderheiten
1	15 Min	5 Min	zunächst verärgelt, dann viele kleine Pünktchen	Anzeige im schwarzfahrbereich
1				
2				
3				

← Beispiel

Anlage A3

Die BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung ist eine wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Die technologische Leistungsfähigkeit der Bundesrepublik Deutschland basiert in hohem Maße auf wettbewerbsfähigen Produkten hoher Qualität, die durch eine innovative Mess- und Prüftechnik zu sichern ist. Mit unserem Auftrag gewährleisten wir als materialtechnische und chemisch-technische Bundesanstalt Sicherheit in Technik und Chemie, mit dem Ziel, die Entwicklung der deutschen Wirtschaft zu fördern.

KorroPad - Verfahrensbeschreibung

Wirkungsweise

Der Korrosionsschutz von nichtrostenden Stahloberflächen beruht auf der Ausbildung einer nur wenige Atomlagen dünnen Chromoxidschicht, der sog. Passivschicht, die das Metall vor weiterer Korrosion schützt. An Stellen wo die Passivschicht gestört oder unvollständig ausgebildet ist kann es zu unerwünschten Korrosionsreaktionen kommen. Bei diesen Korrosionsreaktionen gehen Eisenionen in Lösung. Mit dem KorroPad Indikatorrest ist es möglich die den Metallverbund verlassenden Eisenionen zu detektieren. Es handelt sich um ein Testpad mit Indikatorlösung, das mit einem Aktivator versetzt und mittels Bindemittel in einem gelartigen Zustand gehalten wird. Das KorroPad simuliert einen Feuchtigkeitsfilm an der Oberfläche des Prüfobjektes und stellt ein definiertes Korrosionssystem ein. An Stellen mit gestörter Passivschicht wird der Durchtritt von Eisenionen durch einen Farbumschlag zu „Berliner blau“ angezeigt (Abb. 1).

Achtung: Auch Fremdeisenverunreinigungen führen zu einem Farbumschlag, solange diese noch nicht vollständig oxidiert sind.

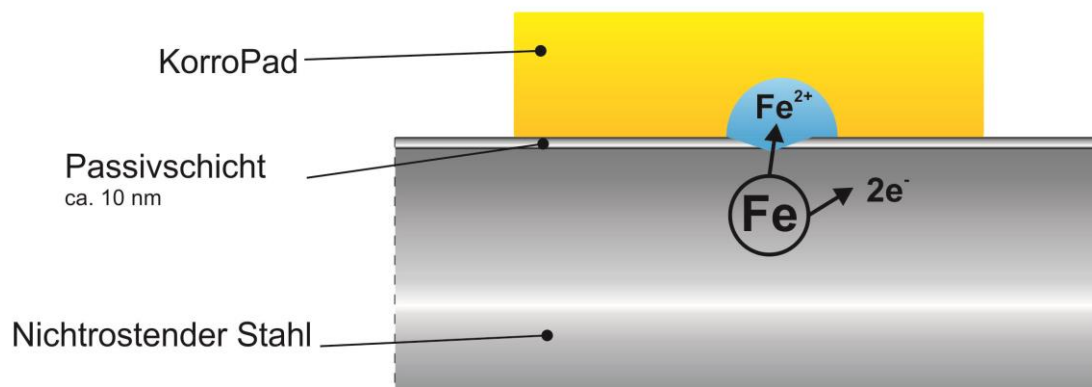


Abb. 1: Prinzipskizze KorroPad; Anzeige bei gestörter Passivschicht

Anwendung

Das KorroPad Verfahren eignet sich zur vergleichenden Prüfung von Oberflächen aus nicht-rostendem Stahl hinsichtlich ihrer Korrosionsbeständigkeit. Das Prüfverfahren wirkt vorrangig oberflächenspezifisch und ist somit für alle nichtrostenden Stähle mit einem PRE* ≥ 18 geeignet. Bei geringer legierten Stahlsorten ist eine Anpassung der KorroPad-Zusammensetzung erforderlich.

Das KorroPad Verfahren kann in einem Temperaturbereich von +5 bis +50 °C eingesetzt werden. Untereinander vergleichbare Ergebnisse werden im Temperaturbereich +15 bis +30 °C erreicht. Bei Temperaturen >30 °C und trockener Luft ist bei der Anwendung ggf. eine Abdeckung der KorroPads mittels Folie erforderlich um ein Austrocknen zu verhindern.

Die Prüfzeit liegt üblicherweise bei 15 Minuten, kann aber im Bedarfsfall angepasst werden. Für Vergleichsprüfungen sollte die Prüfzeit konstant gehalten werden.

Das Prüfverfahren kann zur Optimierung von Oberflächenbearbeitungsprozessen eingesetzt werden sowie zur Wareneingangs- und/oder Warenausgangskontrolle.

Prüfanweisung

Die zu prüfende Oberfläche muss fett- und ölfrei, metallisch blank und ohne Verunreinigungen sein. Die Oberflächen sind vor der Prüfung in geeigneter Weise zu reinigen und zu entfetten.

Nach einer mechanischen Oberflächenbearbeitung wird vor einer KorroPad Prüfung eine Feuchtlagerung der Prüfoberfläche von ca. 48 Stunden empfohlen, um die Ausbildung einer stabilen Passivschicht auf nichtrostenden Stahloberflächen zu fördern.

Eine Prüfung besteht aus mindestens 3 Einzelversuchen. Vor der Prüfung sind die KorroPads auf Umgebungstemperatur vorzutemperieren. Für die Prüfung wird folgender Ablauf empfohlen:

1. *KorroPad Verpackungseinheit aus der Verpackung entnehmen und eine Trägerfolie entfernen. Trägerfolie aufbewahren.*
2. *KorroPads einzeln mit einem Kunststoffspatel abheben*
3. *KorroPad auf Prüfoberfläche applizieren und leicht andrücken*
4. *Luftblasen vorsichtig zur Seite herausdrücken*
5. *KorroPad beobachten und nach 15 Minuten mit einem Kunststoffspatel abheben*
6. *KorroPad zum Schutz vor äußeren Einwirkungen zurück zwischen die Trägerfolien legen*
7. *Die Prüfseite des KorroPads für Dokumentationszwecke hochauflösend einscannen*
8. *Die geprüfte Stahloberfläche nach der KorroPad Prüfung mit Wasser und Spülmittel reinigen*

*) PRE = % Cr + 3,3 · % Mo

Es wird empfohlen folgende Parameter zu dokumentieren:

1. *Zeitraum zwischen Oberflächenbearbeitung und Prüfung (ggf. Feuchtlagerungsdauer)*
2. *Lufttemperatur*
3. *Temperatur der Prüfoberfläche*
4. *Prüfzeitpunkt*
5. *Zeitpunkt der ersten Korrosionsanzeige*
6. *digitale Aufnahme des KorroPads*

Ergebnisbewertung

Das KorroPad Prüfverfahren ist ein Vergleichstest. Die Basis, also das Kriterium für eine gut/schlecht Bewertung ist bei unterschiedlichen Fragestellungen anzupassen. Ein allgemeingültiges Akzeptanzkriterium bzgl. der Anzeigehäufigkeit kann nicht definiert werden. Das KorroPad ist so eingestellt, dass es auf Oberflächen nichtrostender Stähle mit einer gut ausgebildeten Passivschicht keinen Farbumschlag zeigt. Bei einem Prüfergebnis ohne Korrosionsanzeigen ist in jedem Fall davon auszugehen, dass die Passivschicht in einem optimalen Zustand ausgebildet ist.

Einzelne, insbesondere kleine Anzeigen deuten nicht zwangsläufig auf eine grundsätzliche Korrosionsempfindlichkeit einer Oberfläche hin, sondern können an technischen Oberflächen statistisch zufällig auftreten. Hier sind die 3 Vergleichspads genauer zu betrachten und ggf. 3 weitere KorroPads an anderen Stellen des Prüfobjektes zu applizieren und zu bewerten.

Zahlreiche, insbesondere größere Anzeigen deuten auf örtliche Störungen der Passivschicht hin. In diesem Fall sollten gezielte Maßnahmen zur Optimierung des Oberflächenzustands vorgenommen werden.

Haltbarkeit

Das für die KorroPads verwendete Bindemittel ist ein organischer Nährboden und kann bei Verunreinigungen oder unsachgemäßer Anwendung zur Besiedlung mit Pilzen und Bakterien führen. Es ist zwingend darauf zu achten, dass die KorroPads dauerhaft bei Temperaturen zwischen +5 und +8 °C gelagert werden. Die KorroPads sind in Verpackungseinheiten zu je 10 Stück verpackt. Angebrochene Verpackungseinheiten sind kurzfristig zu verbrauchen um auch hier einer Besiedlung vorzubeugen.

Auf der Verpackungsbox ist ein „zu verbrauchen bis“ Datum aufgedruckt, bis zu dem die KorroPads bei sachgerechter Lagerung und Handhabung sicher ihre Gebrauchstauglichkeit behalten. Sollten KorroPads nach diesem Datum noch die gewohnte Konsistenz aufweisen, ist auch darüber hinaus noch eine Prüfung möglich.