
BACHELORARBEIT

Herr
Niklas-Bernard Brames

Aluminiumvorbehandlung für die Chemisch-Nickel- Beschichtung

Mittweida, 2024

Fakultät Ingenieurwissenschaften

BACHELORARBEIT

Aluminiumvorbehandlung für die Chemisch-Nickel- Beschichtung

Autor:

Herr

Niklas-Bernard Brames

Studiengang:

Maschinenbau

Seminargruppe:

MB20wO-B

Erstprüfer:

Prof. Dr. rer. nat. Frank Köster

Zweitprüfer:

Dipl.-Ing. (FH) Christian Grieger

Einreichung:

Mittweida, 26.08.2024

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2024

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	5
Anhangsverzeichnis	7
1. Einleitung	8
2. Vorbetrachtungen	11
2.1 Fehlerbilder	11
2.2 Aufgabenstellung und Motivation	12
2.3 Stand der Technik.....	14
2.3.1 Aluminiumvorbehandlung allgemein	16
2.3.2 Aluminiumvorbehandlung in den Projektfirmen	18
2.4 Chemisch Nickel	20
3. Vorstellung der Firma	21
4. Untersuchungen am Kühlschmiermittel	22
4.1 Voruntersuchungen	23
4.2 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)	25
4.3 Firmeninterne Labortests	28
4.4 Firmenexterne Labortests	32
5. Untersuchungen am Bauteil	34
5.1 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)	34
5.2 Metallografie, Schliffbild	36
5.3 Rasterelektronenmikroskopie (REM)/Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX) .	44
5.4 Röntgendiffraktion (XRD)	51
6. Untersuchungen der Vorbehandlungsbäder	54
7. Fazit	57
8. Selbstständigkeitserklärung	60
9. Quellenverzeichnis	61
9.1 Literatur- und Internetquellen	61
9.2 Abbildungsquellen.....	65
10. Anhang	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prozessdokumentation Chemisch-Nickel	19
Tabelle 2: Zählwerte RFA Kühlschmiermittel	27
Tabelle 3: Querempfindlichkeiten interne Labortests	29
Tabelle 4: Messwerte interne Labortests	29
Tabelle 5: Messwerte RFA Bauteile	35
Tabelle 6: EDX-Werte in Masseprozent	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fehlerbild braune Flecken.....	11
Abbildung 2: Fehlerbild weiße Flecken	12
Abbildung 3: Chemische Zusammensetzung EN AW 5083	15
Abbildung 4: Schichtstruktur chemisch Nickel.....	21
Abbildung 5: Probebauteil gereinigt	24
Abbildung 6: Probebauteil bei Kontakt mit Kühlschmiermittel.....	24
Abbildung 7: RFA-Diagramm Probe T6	26
Abbildung 8: RFA-Diagramm Probe T7	26
Abbildung 9: RFA-Diagramm Probe VE-Wasser.....	27
Abbildung 10: Nitrat-/Nitrit-Test Quantofix Probe T7	30
Abbildung 11: Schnelltest Chlorverbindungen MQuant Probe T7.....	30
Abbildung 12: Nitrat-/Nitrit-Test Quantofix Probe T6	31
Abbildung 13: Schnelltest Chlorverbindungen MQuant Probe T6.....	31
Abbildung 14: Analyse Kühlschmiermittel hebro chemie	32
Abbildung 15: Chemische Zusammensetzung EN AW 5083	35
Abbildung 16: Laserscanningmikroskopie brauner Fleck Übersicht.....	37
Abbildung 17: Laserscanningmikroskopie brauner Fleck detailliert	38
Abbildung 18: Laserscanningmikroskopie brauner Fleck Rissnetzwerk.....	39
Abbildung 19: Laserscanningmikroskopie 3D-Oberfläche brauner Fleck	40
Abbildung 20: Schliffbild brauner Fleck.....	41
Abbildung 21: Schliffbild Grundwerkstoff	42
Abbildung 22: Schliffbild Grundwerkstoff 2	42
Abbildung 23: REM weiße Flecken	45
Abbildung 24: REM fehlerfreie Oberfläche	46
Abbildung 25: REM weiße Flecken geneigt	46
Abbildung 26: Messpunkte EDX weiße Flecken	47
Abbildung 27: EDX-Messwerte fehlerfreier Bereich (Probe 2 iO)	48
Abbildung 28: EDX-Messwerte weißer Fleck (Probe 2niO)	48
Abbildung 29: REM braune Flecken	50
Abbildung 30: EDX-Messwerte braune Flecken	51
Abbildung 31: XRD-Diffraktogramm Aluminium	52

Abbildung 32: XRD-Diffraktogramm Aluminiumsubstrat + NiP.....	53
Abbildung 33: XRD-Diffraktogramm Al ₂ O ₃	54
Abbildung 34: Entfettung SurTec 061	56
Abbildung 35: Entfettung HAKUPUR 50-559	56

Abkürzungsverzeichnis

AAS	Atomabsorptionsspektrometer
Al	Elementsymbol Aluminium
bzw.	beziehungsweise
Ca	Elementsymbol Calcium
ca.	circa
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
EDX	Energiedispersive Röntgenspektroskopie
Fe	Elementsymbol Eisen
GDEOS	Glimmentladungsspektroskopie
g/l	Gramm pro Liter
HV	Härte nach Vickers
iO	in Ordnung
KBE	koloniebildende Einheit
kg	Kilogramm
mg/l	Milligramm pro Liter
min.	Minute(n)
mm	Millimeter
Ni	Elementsymbol Nickel
niO	nicht in Ordnung
O	Elementsymbol Sauerstoff
P	Elementsymbol Phosphor
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse

REM	Rasterelektronenmikroskopie
RT	Raumtemperatur
s	Sekunde
Si	Elementsymbol Silizium
u.a.	
VE	vollentsalzt
XRD	Röntgendiffraktion
z.B.	zum Beispiel
Zn	Elementsymbol Zink
°dH	Grad deutscher Härte
°C	Grad Celsius
µm	Mikrometer
µS	Mikrosiemens

Anhangsverzeichnis

- Anhang 1: Datenblatt hebro lan U 93-114
- Anhang 2: Auszug Sicherheitsdatenblatt SurTec 061
- Anhang 3: Auszug Sicherheitsdatenblatt SurTec 415
- Anhang 4: Auszug Sicherheitsdatenblatt SurTec 089
- Anhang 5: Auszug Sicherheitsdatenblatt HAKUPUR 50-559
- Anhang 6: Auszug Sicherheitsdatenblatt Netzmittel 231

1. Einleitung

Funktionelle Oberflächenbeschichtungen, wie Chemisch-Nickel, sind essenziell für die heutige Industrie. Sie ermöglichen die Verwendung von Grundmaterialien, die günstiger oder besser zu bearbeiten sind. Auch wenn der Grundwerkstoff die gewünschten Eigenschaften nicht erfüllt, können diese Eigenschaften schlussendlich durch die Beschichtung erzeugt werden. Die Verwendung von Oberflächenbeschichtungen beruht dabei auf folgenden Zielen: [1]

- Korrosionsschutz
- Verschleißverhalten
- optisches Verhalten
- Benetzbarkeit
- Dekoration und Ästhetik
- spezielle Topografie
- elektrisches und thermisches Leitfähigkeitsverhalten
- biochemische Aktivität

Hierbei ist zu erwähnen, dass speziell bei den in der Bachelorarbeit untersuchten Aluminiumbauteilen Augenmerk auf das Verschleißverhalten, den Korrosionsschutz und Dekoration bzw. Ästhetik gelegt wird.

Der Chemisch-Nickel-Prozess beschreibt ein außenstromloses Verfahren der Abscheidung von Nickel-Phosphor-Schichten auf Bauteiloberflächen. Diese können aus unterschiedlichen Materialien bestehen, wie zum Beispiel Stahl, Aluminiumlegierungen, Kupfer oder Kunststoffen.

Grundlegend für eine erfolgreiche Chemisch-Nickel-Beschichtung der Oberfläche ist die substratspezifische Vorbehandlung. Erst durch diesen Prozessschritt kann z.B. eine Haftfestigkeit oder Aktivierung der Oberfläche gewährleistet werden. Es ist somit wichtig, auftretende Beschichtungsfehler zu ergründen und zu beheben, um die gewünschten Schichteigenschaften realisieren zu können.

Die Ausarbeitung greift hierbei speziell die Vorbehandlung von Aluminiumbauteilen für die Beschichtung mit Chemisch-Nickel auf.

Zur Einführung in die Thematik werden zunächst die Vorbetrachtungen näher erläutert. Damit einher geht die genaue Eingrenzung des Themas und die Notwendigkeit für dessen Bearbeitung mit den jeweiligen Zielen. Darauf folgend werden die mit den Untersuchungen

verbundenen Erwartungen aufgeführt. Um die gegebenen Bedingungen und Handhabungen in den einzelnen Produktionen aufzuzeigen, wird der aktuelle Stand der Technik dargestellt. Dies dient dem Verständnis von Abläufen und Einflüssen auf die Fertigungsprozesse. Zum Abschluss der Vorbetrachtungen werden die auftretenden Fehlerbilder beschrieben, welche den ausschlaggebenden Grund zur Projektbearbeitung liefern. In Punkt 3 wird die betreuende Firma CMF Oberflächentechnik GmbH kurz vorgestellt, um die Breite der Möglichkeiten, Anwendungen und Bauteile in der Firma zu beleuchten.

Die Bachelorarbeit besteht aus zwei grundlegenden Teilgebieten. Die Untersuchungen im ersten Teil erfolgen unter anderem in Absprache und Kooperation mit der mkf GmbH in Lederhose. Diese stellt mitunter Aluminium-Frästeile aus EN AW 5083 her (chemische Zusammensetzung siehe 5.1 „Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)“) und ist Kunde bei der CMF Oberflächenbeschichtung GmbH. Die Aluminium-Bauteile mit den bekannten Fehlerbildern (siehe 2.1 „Fehlerbilder“) werden von der mkf GmbH hergestellt und nach der Beschichtung weiterverarbeitet. Zudem stellt sie unbeschichtete sowie bereits beschichtete Aluminiumproben für die unterschiedlichen Versuche zur Verfügung. Ansprechpartner dafür ist Herr André Neufert, zuständig für Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung bei der mkf GmbH.

Im ersten Teilgebiet wird somit die Suche nach den Ursachen der Fehlerbilder am Bauteil selbst, sowie innerhalb des Fertigungsprozesses im Zuliefererbetrieb aufgegriffen. Für die Untersuchung am Kühlschmiermittel werden zunächst einfache und schnelle Voruntersuchungen durchgeführt, um erste Kenntnisse über die Zusammenhänge des Kühlschmiermittels und die Fehlerbilder zu erlangen. Um diese Zusammenhänge und Einflüsse genauer beurteilen zu können, wurden eine Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) sowie firmeninterne bzw. -externe Labortest durchgeführt. Die Untersuchungen am Bauteil selbst beinhalten ebenfalls eine Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA). Darüber hinaus wird ein metallografischen Schliff angefertigt sowie Versuche mittels Rasterelektronenmikroskop (REM), energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX) und Röntgendiffraktion (XRD) realisiert. Die durchgeführten Untersuchungen und Erkenntnisse sind in den Punkten 4 „Untersuchungen am Kühlschmiermittel“ bis 5 „Untersuchungen am Bauteil“ dokumentiert.

Der zweite Teil der Arbeit bezieht sich auf die Untersuchungen der Ursachen innerhalb der Beschichtungsfirma, CMF Oberflächenbeschichtung GmbH, während oder nach dem Beschichtungsprozess.

In der nachfolgenden Bachelorarbeit wird auf die Einhaltung einer gendergerechten Sprache verzichtet. Dies dient der besseren Lesbarkeit und der einfachen Verständlichkeit. Dennoch werden in jeder Erwähnung jegliche Formen der Geschlechter angesprochen.

2. Vorbetrachtungen

2.1 Fehlerbilder

Bei Betrachtung der von der mkf GmbH reklamierten Aluminium-Bauteile werden zwei Fehlerbilder ersichtlich. Einige der Bauteile weisen die Bildung brauner bis schwarzer Flecken auf der vernickelten Bauteil-Oberfläche auf. Diese treten meist vereinzelt oder, wie in der folgenden Abbildung ersichtlich, stellenweise gehäuft auf. Sie liegen aber nicht gleichmäßig über dem Bauteil verteilt vor. Die Flecken haben dabei einen Durchmesser von wenigen Millimetern. Sie besitzen eine einheitliche Farbgebung und sind geruchlos. Jedoch zeigen sie eine hohe Haftfestigkeit. Daher lassen sie sich nicht ohne mechanische Abtragung abwischen. Auch der Einsatz von Lösemitteln zeigt keine Wirkung.

Das Fehlerbild ist nicht unmittelbar nach dem Beschichten der Oberfläche zu erkennen, sondern entwickelt sich erst nach einiger Zeit. Dadurch konnte es erst bei der Qualitätskontrolle in der Kundenfirma entdeckt werden. Zudem konnte ein langsames Wachstum der Flecken mit steigender Lagerzeit festgestellt werden.

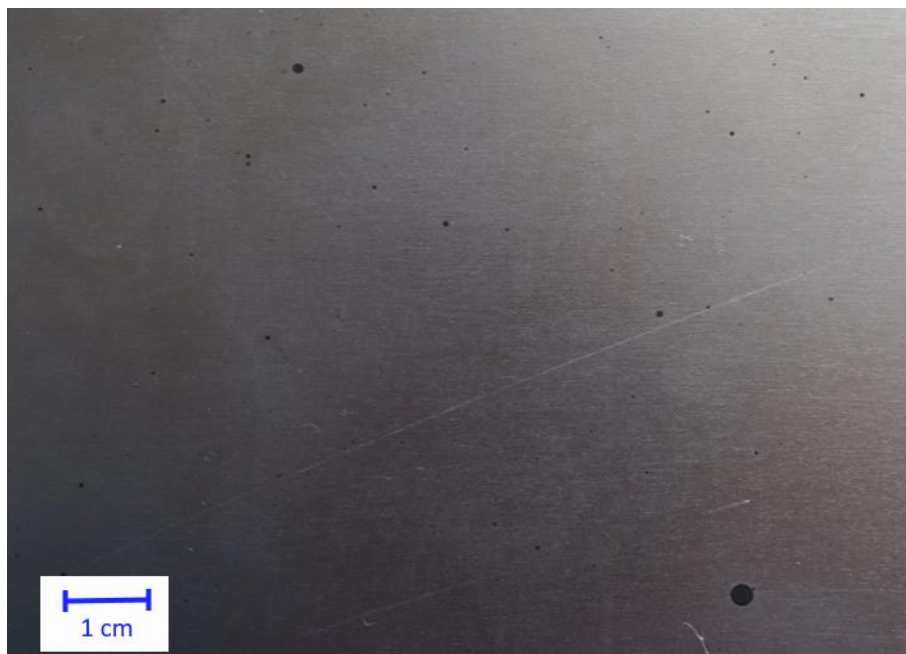


Abbildung 1: Fehlerbild braune Flecken

Ein weiteres Fehlerbild zeigt sich in der Entstehung weiß-grauer Flecken auf der beschichteten Bauteil-Oberfläche. Diese können partiell auftreten oder einheitlich über das gesamte Bauteil

verteilt vorliegen. Die Flecken haben eine Größe von bis zu 1 mm. Wie auch beim vorherigen Fehlerbild sind die weißen Flecken geruchlos und haftfest. Sie lassen sich ebenfalls nicht ohne größeren Aufwand oder durch den Einsatz von Lösemitteln entfernen.

Auffällig ist das erkennbare Muster der weißen Flecken. Diese scheinen in Streifen über die Oberfläche hinweg zu verlaufen. Das Muster kann jedoch durch die Bearbeitungsspuren des Fräswerkzeuges erklärt werden, wodurch sich das Fehlerbild entlang der Bearbeitungsspuren ausbildet.

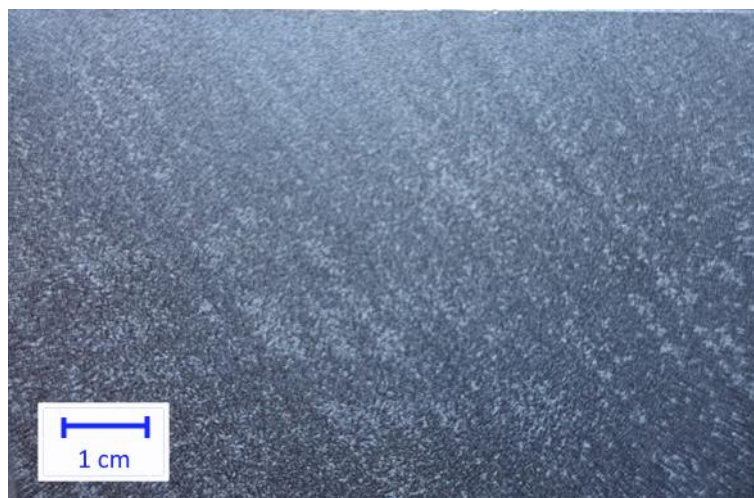


Abbildung 2: Fehlerbild weiße Flecken

Bei beiden Fehlerbildern lässt sich ohne genauere Untersuchungen nicht erkennen, ob sie sich auf der Nickel-Phosphor-Schicht befinden oder von dieser umschlossen bzw. eingeschlossen werden. Auch eine Veränderung der Oberflächenrauheit ist ohne weitere Messung nicht nachweisbar.

2.2 Aufgabenstellung und Motivation

Das Thema der Bachelorarbeit stellt die Optimierung der Aluminiumvorbehandlung dar, von der Reinigung und Entfettung bis hin zur Zinkatbeschichtung. Damit einhergehend wird die Prozessführung für die Chemisch-Nickel-Beschichtung näher analysiert und mögliche Ursachen abgeleitet. Dazu zählen unter anderem Standzeiten der einzelnen Bäder, Verweilzeiten der Bauteile, Badtemperaturen, pH-Werte und Badkonzentrationen. Die

Prozessführung wird anschließend mit den firmeneigenen Vorgaben und dem allgemein üblichen Prozessablauf verglichen.

Zusätzlich soll die Eignung des Materials für eine erfolgreiche Beschichtung überprüft werden. Zur Bewertung der Eignung wird die Oberflächenbeschaffenheit, die chemische Zusammensetzung und die Legierungs-Herstellung beleuchtet. Darüber hinaus wird die Verarbeitung des Rohmaterials in der mkf GmbH näher betrachtet.

Die Grundlagen für die Untersuchungen bilden Auftrags-Reklamationen und Fehlerbilder auf bereits beschichteten Kundenbauteilen.

Generell gibt es nur einen geringen Forschungsstand zu den auftretenden Oberflächenfehlern. Bisher wurde die Ursache nur in der Vorbehandlung der Bauteile vermutet, konnte aber nicht auf einzelne Bäder beschränkt werden. Weitergehende Untersuchungen, beispielsweise des Materials, wurden noch nicht durchgeführt. Bei Auftreten der Beschichtungsfehler erfolgte die Umstellung des Prozessablaufs hinsichtlich der Nutzung einzelner Bäder, der Verweilzeiten oder der chemischen Badparameter bis hin zum Neuansatz einiger Bäder.

Die Oberflächenbeschichtung stellt, wie in der Hinführung erläutert, einen grundlegenden Bestandteil in der Fertigung des Endprodukts dar. Eine Notwendigkeit der Projektbearbeitung liegt also im Erreichen der geforderten Schichteigenschaften und somit der funktionellen Gewährleistung des Bauteils in der späteren Verwendung.

Des Weiteren können die gewonnenen Erkenntnisse zur Behebung von Beschichtungsfehlern an Aluminium-Bauteilen anderer Kunden genutzt werden, gegebenenfalls auch für weitere Grundwerkstoffe. Außerdem wird ermöglicht, die Kunden im Fertigungsprozess der Rohteile oder der Materialwahl zu beraten, um eine bestmögliche Beschichtung zu generieren.

Das Ziel dieser Ausarbeitung ist die erfolgreiche Ursachenergründung der Beschichtungsfehler. Resultierend aus den durch unterschiedliche Untersuchungen gewonnenen Erkenntnissen sollen gegebenenfalls Änderungsvorschläge zum Rohmaterial und zur Verfahrensoptimierung in der mkf GmbH und der CMF Oberflächenbeschichtung GmbH erarbeitet werden.

Dazu zählt auf der einen Seite die Anpassung des Vorbehandlungsprozesses und dessen Prozessparameter. Auf der anderen Seite sollte unter Umständen eine Optimierung der Materialeigenschaften, -herstellung und -verarbeitung erfolgen. Dadurch soll die Vermeidung

eines erneuten Fehlerauftritts erwirkt und die Eignung des Materials und dessen Verarbeitung geprüft werden. Damit wird im Endeffekt eine optimale Beschichtung der Bauteile erzielt.

Auch das spezifische Zusammenwirken zwischen Materialeigenschaften, Materialverarbeitung und den einzelnen Schritten des Beschichtungsprozesses sollen näher erforscht werden. Dies bewirkt eine schnellere Handlungsfähigkeit beim Auftreten von weiteren Komplikationen oder Oberflächenfehlern.

Es wird davon ausgegangen, dass sich im Laufe der Untersuchungen mehrere Ursachen ergeben werden. Diese Kombination aus verschiedenen Ursachen ruft in ihrem Zusammenwirken entweder das Fehlerbild der weißen oder die braunen Flecke hervor. Die Fehlerbilder werden in Punkt 2.1 „Fehlerbilder“ näher erläutert. Hintergrund der Erwartung ist das unregelmäßige, scheinbar zufällige Auftreten der Oberflächenfehler. Zudem sind nie alle Bauteile des gleichen Warenträgers von den Fehlerbildern betroffen. Auch Bauteile, die unmittelbar im Anschluss beschichtet wurden, weisen nicht zwangsläufig Beschichtungsfehler auf.

Dabei ist zu erwarten, dass die unterschiedlichen Ursachen für beide Fehlerbilder sowohl im Material, dem Fertigungsprozess des Bauteils als auch in den Bädern des Chemisch-Nickel-Prozesses zu verorten sind. Dadurch ist es schwierig, das Auftreten der Fehlerbilder im Rahmen der Untersuchungen absichtlich herbeizuführen.

Konkret vermutet wird der Einfluss des Kühlschmiermittels im Fertigungsprozess. Durch darin enthaltene Edelstahlrestspäne und dem in der Aluminiumlegierung enthaltenen Zink erfolgt eine Kontaktkorrosion an der Bauteiloberfläche, welche nach der Beschichtung in Form der weißen Flecke ersichtlich wird.

2.3 Stand der Technik

Der Transport der Warenträger erfolgt mithilfe eines Galvanikautomaten. Dabei werden bestimmte Badparameter während des Beschichtungs- oder Vorbehandlungsprozesses überwacht und geregelt.

Die jeweiligen Galvanikbecken fassen zwischen 1400 und 2250 Liter. Zum Spülen der Warenträger werden Fließspülen, Tauchspülen oder Spritzregister verwendet. Bei Bedarf ist

das manuelle Abspülen der Teile mittels Brause oder ein Ausblasen der Teile mit Hilfe von Druckluft möglich. [2] Eine Warenbewegung ist im Galvanikautomaten nicht möglich. Stattdessen wird eine Badbewegung in den Spülen durch Luftzufuhr vom Beckenboden aus realisiert. Die Badbewegung in den Heißentfettungen erfolgt durch einen Pumpenkreislauf.

Der Firma steht ein eigenes Labor zur Verfügung, welches der Überwachung der Prozessparameter und der Abwasserendkontrolle dient. Täglich werden die nötigen Mengen an Zusatz- oder Hilfsstoffen ermittelt. Darüber hinaus werden auch im Labor der pH-Wert und die Nickel-Konzentrationen gemessen. Die täglichen Zugaben der Chemisch-Nickel-Bäder werden anhand der im System erfassten Flächen der bearbeiteten Bauteile und deren geforderten Schichtdicken berechnet. Die Messung des pH-Wertes der Heißentfettung erfolgt einmal pro Woche. Der pH-Wert im Vornickel-Bad wird zweimal wöchentlich kontrolliert. Ausgestattet ist das Labor zudem mit einem Atomabsorptionsspektrometer (AAS), zum Beispiel zur Ermittlung der Abwasserbelastung durch Nickel- oder Kupferverbindungen.

Die betroffenen Aluminiumbauteile bestehen aus der Aluminium-Magnesium-Legierung EN AW 5083 (AlMg4,5Mn0,7). Dabei handelt es sich um eine naturharte Aluminiumknetlegierung. [3] Das bedeutet, dass sie sich im Gegensatz zu Gusslegierungen nach dem Gussprozess weiter umformen lässt. Des Weiteren kann sie zur Festigkeitssteigerung, anders als aushärtbare Legierungen, nicht weiter wärmebehandelt werden. [4]

Die chemische Zusammensetzung der Aluminiumlegierung EN AW 5083 ist nachfolgend dargestellt.

Bezeichnung der Legierung		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Bemerkungen	Andere ^a		Aluminiummin.
Numerisch	Chemische Symbole													Einzel	Insgesamt ^b	
EN AW-5083	EN AW-Al Mg4,5Mn0,7	0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,05-0,25	—	0,25	0,15	—	—	—	0,05	0,15	Rest

Abbildung 3: Chemische Zusammensetzung EN AW 5083

[5]

Die verwendete Aluminiumlegierung wird in einer externen Gießerei als Block gegossen. Anschließend wird der Block vom Aluminiumzulieferer der mkf GmbH zurechtgesägt und die gefertigten Platten an die mkf GmbH geliefert und eingelagert. Diese schleift die Platten vor dem Fräsprozess mit einem Schleifvlies ab. Danach werden aus den Platten verschiedene Bauteile unterschiedlicher Geometrie gefräst. Die Fertigung erfolgt dabei auf zwei CNC-Fräsmaschinen. Die Fertigteile haben variierende Abmaße von 10x10 cm bis zu 50x100 cm

oder größer. Im Anschluss werden die Fertigteile chemisch vorgereinigt. Darauf wird in Punkt 2.3.2 „Aluminiumvorbehandlung in den Projektfirmen“ näher eingegangen.

Danach werden die Teile durch die Qualitätssicherung geprüft und gegebenenfalls nochmals chemisch gereinigt, verpackt und eingelagert. Die Lagerzeit bei der mkf GmbH kann bis zu mehreren Wochen betragen.

Bei Ankunft der beschichteten Teile bei der mkf GmbH werden die Teile mittels Isopropanol und Ultraschallbad ein letztes Mal gereinigt und montiert.

2.3.1 Aluminiumvorbehandlung allgemein

Der allgemein gültige Ablauf der Aluminiumvorbehandlung beginnt mit dem Schleifen oder Polieren des Bauteils. Dabei werden oberflächennahe Poren und Einschlüsse herausgearbeitet und grobe Oberflächenverunreinigungen entfernt. Entsprechend dem Zustand der Bauteiloberfläche müssen das dafür geeignete Schleifmittel und die Körnung festgelegt werden. Grundsätzlich wird mit dem Schleifen begonnen und anschließend die Bauteiloberfläche poliert. Dadurch werden Faktoren wie optische Eigenschaften und Oberflächenrauheit verbessert. [6]

Im Anschluss folgt das Entfetten bzw. Reinigen des Bauteils. Hierfür können unterschiedliche Medien und Verfahren angewendet werden. Zum einen finden organische Lösungsmittel Anwendung, aber auch Emulsionsentfettungen, Abkochentfettungen sowie Beizentfettungen und elektrolytische Entfettungen. Dafür wird das Prinzip der Lösung, Dispergierung, Emulgierung, Verseifung und Verdrängung genutzt. Die Effektivität der Entfettung kann dabei durch Temperaturerhöhung über den Schmelz- bzw. Tropfpunkt der Verunreinigungen gesteigert werden. Auch die Zufuhr mechanischer Bewegungsenergie mittels Warenbewegung, Badbewegung, Ultraschall oder Spritzregister erhöht die Effektivität der Bauteilreinigung. [6]

Ein oft angewendetes Verfahren der Entfettung ist die Heißentfettung in alkalischer Lösung, also eine Abkochentfettung. Ein wichtiger Bestandteil dieser Entfettung sind die zugegebenen Tenside. Diese senken die Grenzflächenspannung zwischen den Ölen am Bauteil und dem Wasser im Bad. Weiterhin wird die Zugabe von Carbonaten (z.B. Soda) und Boraten (z.B. Borax) für die Entfettung von Aluminiumlegierungen empfohlen. Carbonate haben eine geringere Alkalität und eignen sich damit für die Entfettung alkaliempfindlicher Nichteisenmetalle, wie

Aluminium. Borate zeichnen sich durch ihre oxidlösende Wirkung bei alkaliempfindlichen Metallen aus. Die Badtemperatur der Heißentfettung beträgt 70-80°C und kann durch Ultraschall oder Badbewegung unterstützt werden. [6]

Im dritten Schritt folgen das Beizen, Aktivieren und Dekapieren. Zwischen Flüssigkeiten unterschiedlicher Reaktionen muss stets eine Neutralisation und Dekapierung erfolgen. Dies dient der Entfernung dünner Oberflächenfilme, wie Oxiden, Sulfiden, Silikaten oder Carbonaten. Nach alkalischen Prozessen folgt somit eine saure Dekapierung. Dabei wird zudem die Oberfläche des Bauteils aktiviert. Empfohlen wird die Verwendung 5-10%iger Salzsäure oder eine Salpetersäure/Flusssäure-Mischung im Verhältnis 3:1. Die Dekapierung geht immer einher mit einer Neutralisation. In diesem Schritt werden Elektrolyt- und Salzreste neutralisiert, welche oft in Poren oder Rissen in der Bauteiloberfläche zurückbleiben und beim Vernickeln austreten können. Dadurch können Fehlstellen in der Beschichtung entstehen. Bei sauren Elektrolytresten soll eine verdünnte Alkalilösung (5-20 g/l) aus Natriumhydroxid, Natriumcarbonat oder Trinatriumphosphat verwendet werden. Für alkalische Salzreste wird die Neutralisation mit verdünnten Mineralsäuren, Oxalsäure, Weinstein und anderen organischen Säuren empfohlen. Mittels Neutralisation wird zudem ein temporärer Anlaufschutz erzielt. Eine weitere Passivierung kann durch das Tauchen in verdünnte Lösungen aus Natriumnitrit, Alkalichromat oder Triethanolamin erlangt werden. [6]

Aluminium mit seinen chemischen Eigenschaften unterscheidet sich stark von anderen Werkstoffen. Aluminium besitzt eine hohe Sauerstoffaffinität und bildet dadurch schnell eine Oxidschicht. Diese verhindert eine Metallverbindung zwischen der abgeschiedenen Schicht und dem Grundwerkstoff. Dadurch muss eine Zwischenschicht mit geringerer Sauerstoffaffinität aufgebracht werden. [7]

Vor dem Aufbringen der Zwischenschicht auf das Bauteil kann in einer Lösung aus je 50g/l Salzsäure und Titandioxid, als Inhibitor, gebeizt werden. Anschließend wird das Bauteil anodisch oxidiert. Zum Aufbringen einer metallischen Zwischenschicht werden zwei grundlegende Verfahren genutzt, das Zinkatverfahren und das Stannatverfahren. Beim Zinkatverfahren kommt eine Zinkatbeize zum Einsatz. Diese sorgt für das Aufbringen einer Zinkatzwischenschicht auf der Bauteiloberfläche. Dafür wird eine Verweilzeit von 20 Sekunden bis mehreren Minuten angesetzt. Die im Anschluss abgeschiedene Beschichtung ist umso besser, je dünner, einheitlicher und feinkörniger die Zinkatschicht. Nach dem Aufbringen der Zwischenschicht wird das Bauteil in Salpetersäure erneut gebeizt und der Vorgang wiederholt,

um eine geschlossene Zinkatschicht zu generieren. Eine Alternative zum Zinkatbeizen bildet das Stannatverfahren. Dabei wird das Bauteil 5 Minuten in eine Lösung aus 50g/l Natriumhydroxid getaucht. Anschließend wird es 5 Minuten in einer Säuremischung aus Phosphorsäure und Salpetersäure im Verhältnis 3:2 bei 60-65°C geätzt. Zuletzt erfolgt das Tauchen in einer Lösung aus Natrium- oder Kaliumstannat für 1 Minuten bei 55°C, wobei eine Zinkatzwischenschicht abgeschieden wird. Dieses Verfahren wird vor allem bei hochbelasteten Schichten verwendet, da es eine sehr gute Haftfestigkeit gewährleistet. [6] Allerdings kann das Verfahren nicht für eine Beschichtung mit Chemisch-Nickel genutzt werden, da Zinn mit -0,14 V ein höheres Standardpotenzial als Nickel mit -0,23 V besitzt und Nickel damit nicht abgeschieden werden kann. [8]

Unmittelbar nach jedem einzelnen Prozessschritt muss ein Spülvorgang erfolgen, um anhaftende Flüssigkeitsreste abzuwaschen und Verschleppung zu minimieren. Der Frischwasserzulauf sollte dabei vom Beckenboden aus erfolgen, da sonst keine ausreichende Durchmischung des Spülwassers erreicht wird. Kaskadenspülen und Spritzregister sollen als Spülenart bevorzugt werden. Die Verwendung von Luftmischdüsen oder eingeblassener, ölfreier Druckluft erhöhen die Spülwirkung und dienen der Wassereinsparung. Leitfähigkeitsmessgeräte in Verbindung mit Magnetventilen sorgen für eine gezielte Frischwasserzufuhr, je nach Grad der Verunreinigung des Spülwassers. Großflächige Bauteile sollten mittels Brause abgespült werden. [6]

2.3.2 Aluminiumvorbehandlung in den Projektfirmen

Die Vorbehandlung der Aluminiumbauteile beginnt entgegen dem üblichen Ablauf bereits in der Fertigerfirma mkf GmbH. Diese reinigen die Bauteile nach dem Fertigungsprozess auf der Fräsmaschine, um unter anderem Kühlschmiermittel, Öle und Fette zu entfernen. Dadurch können mögliche Reaktionen mit den Zusatzstoffen beendet oder verhindert werden. Für die chemische Vorreinigung wird der Reiniger hebro lan U 93-114 von hebro chemie verwendet. Dabei handelt es sich um einen 2-5 %igen schwach alkalischen, wassermischbaren Reiniger mit Amin- und Tensidanteilen. Die Badtemperatur beträgt bis zu 70°C bei einer Verweilzeit von 1-5 Minuten. [9]

Der Reiniger von hebro chemie wird mit VE-Wasser angesetzt und alle 4 Wochen gewechselt. Es wird darauf geachtet, dass das VE-Wasser einen Leitwert von mindestens 1000 µS besitzt.

Wie in Punkt 2.3 „Stand der Technik“ beschrieben, wird das Bauteil nun geprüft und gegebenenfalls erneut gereinigt.

Die Aluminiumvorbehandlung in der CMF Oberflächenbeschichtung GmbH erfolgt nach dem im Anschluss dargestellten Prozessablauf.

Position	Bezeichnung	Temp. [°C]	Zeit [s]	Versorgungs-Medien	Anmerkungen/Richtwerte
9	Heißentfettung Fe	60-70	180-600	Heizung, Pumpe	Ansatz mit Stadtwasser
10	Spüler Entfettung	RT	5-60	Spritz-Register	Stadtwasser
15	Heißentfettung/Beize Alu	60-70	180-300	Heizung, Pumpe	Ansatz mit Stadtwasser
16	Spüler Alu-Entfettung/ -Beize	RT	5-60	Spritz-Register	Stadtwasser
19	Klären/Aufhellung	20-30	120-240	Luft	Stadtwasser
18	Spüler Klären 1	RT	5-60	Spritz-Register	Stadtwasser
17	Spüler Klären 2	RT	5-60	Spritz-Register	Stadtwasser
23	Zinkatbeize	RT	60-70	Luft	Ansatz mit Stadtwasser
22	Spüler Zinkat 1	RT	5-60		Stadtwasser
21	Spüler Zinkat 2	RT	5-60	Spritz-Register	Stadtwasser
19	Klären/Aufhellung	20-30	60-180	Luft	Stadtwasser
18	Spüler Klären 1	RT	5-60	Spritz-Register	Stadtwasser
17	Spüler Klären 2	RT	5-60	Spritz-Register	Stadtwasser
23	Zinkatbeize	RT	40-50	Luft	Ansatz mit Stadtwasser
22	Spüler Zinkat 1	RT	5-60		Stadtwasser
21	Spüler Zinkat 2	RT	5-60	Spritz-Register	Stadtwasser

Tabelle 1: Prozessdokumentation Chemisch-Nickel

[10]

Die Vorbehandlung weicht hierbei weniger vom allgemeinen Prozessablauf, sondern mehr von den jeweiligen Badinhalten und Badparametern ab. So soll der pH-Wert für Aluminiumentfettungen in der Regel zwischen 4 und 9 liegen. Die verwendete Entfettung hat jedoch einen pH-Wert größer als 9,5. Erfahrungswerte haben gezeigt, dass bei höherem pH-Wert mit der genutzten Entfettungschemie ein besseres Ergebnis erreicht wird.

Die Heißentfettung für Stahl (Heißentfettung Fe) wird als Vorentfettung für die Aluminiumbauteile verwendet.

Zum Beizen von Aluminiumlegierungen soll laut T. W. Jelinek [6] Salzsäure verwendet werden. Auch Natronlauge findet üblicherweise Verwendung dafür. Jedoch beinhaltet die Beize für Aluminium in der Beschichterfirma Phosphorsäure und das Tensid ENPREP LIQUIPUR TENSIDE 2211 der Firma MacDermid Enthone GmbH. Grund dafür sind Probleme mit Schwefelsäure als Beize und damit die Umstellung auf Phosphorsäure.

Um sicher zu gehen, dass sich eine geschlossene Zinkatschicht generiert, wird das Zinkatverfahren zwei Mal angewendet. Die Wiederholung des Verfahrens ist im allgemeinen

Prozessablauf optional, jedoch empfohlen. Der im Anschluss folgende Prozessschritt des Vornickels ist ebenfalls optional.

Im Vornickel wird eine erste dünne Nickel-Phosphor-Schicht abgeschieden. Damit wird der Zinkateintrag in das eigentliche Chemisch-Nickel-Bad minimiert und eine höhere Haftfestigkeit erlangt.

2.4 Chemisch Nickel

Wie bereits erwähnt handelt es sich bei dem Chemisch-Nickel-Prozess um ein außenstromloses Verfahren zur Abscheidung von Nickel-Phosphor-Schichten. Die Abscheidung kann dabei auf unterschiedlichen Werkstoff-Oberflächen erfolgen, unter anderem Aluminiumlegierungen, Stahl oder Kupfer.

Funktionsprinzip der außenstromlosen Abscheidung ist eine Redoxreaktion. Das Reduktionsmittel wird dafür dem Elektrolyten zugegeben, welches durch Oxidation die für die Reaktion notwendigen Elektronen liefert. Die im Elektrolyten enthaltenen Metallionen werden dabei durch Elektronenaufnahme zu Metallatomen reduziert. Durch Stabilisierung des Elektrolyten mittels Komplexbildern wird ermöglicht, dass die Abscheidung nur an der Bauteiloberfläche stattfindet statt im gesamten Aktivbad. Folge der Zugabe von Komplexbildern ist die Reduzierung der Konzentration freier Kationen im Elektrolyten. Somit wird die Reduktion im Elektrolyten vermindert. Dadurch wird jedoch auch die Reduktion am Bauteil herabgesetzt. Um dem entgegenzuwirken, muss die Bauteiloberfläche als Katalysator für die Reaktion dienen. [11] Aluminium jedoch ist nicht katalytisch aktiv und muss somit im Rahmen der Vorbehandlung aktiviert werden. Dazu wird das Zinkat-Verfahren angewendet (siehe 2.3.1 „Aluminiumvorbehandlung allgemein“).

Die Schichtabscheidung startet an vereinzelten Keimpunkten. Das Keimwachstum erfolgt in kugelartiger Ausbreitung. Dadurch ergibt sich nachfolgende Oberflächenstruktur, welche umgangssprachlich auch als „Blumenkohlstruktur“ bezeichnet wird.

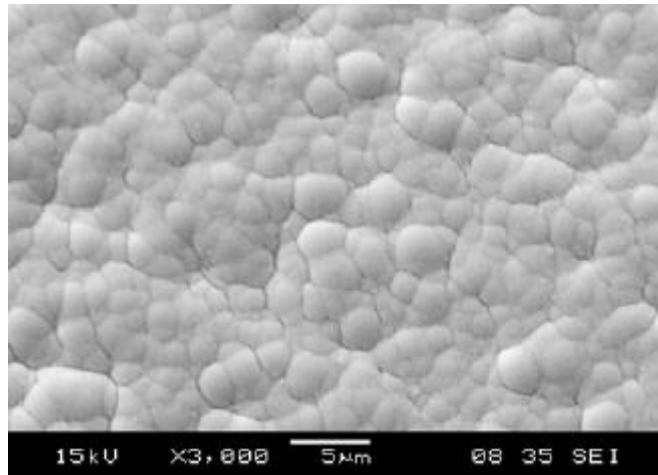


Abbildung 4: Schichtstruktur chemisch Nickel

[12]

Als Reduktionsmittel im Elektrolyten wird Natriumhypophosphit verwendet. Dadurch erfolgt neben der Nickelabscheidung auch der Einbau von Phosphoratomen. Der Phosphor-Anteil in der abgeschiedenen Schicht ist maßgebend für die Schichteigenschaften. Bei einem höheren Phosphorgehalt von ungefähr 9% ist ein guter Korrosionsschutz gegeben. Jedoch steigt bei sinkendem Phosphorgehalt die Verschleißbeständigkeit der Schicht. [13] Durch eine anschließende Wärmebehandlung kann die Härte und damit die Verschleißbeständigkeit der Nickel-Phosphor-Schicht gesteigert werden.

3. Vorstellung der Firma

Die CMF Oberflächenbeschichtung GmbH in Lichtenau besteht seit dem Jahr 2015 und ist nach DIN ISO 9001:2015 zertifiziert. Ansprechpartner in der Firma ist der Geschäftsführer, Herr Dipl.-Ing. Christian Grieger.

Kerngeschäft der CMF Oberflächenbeschichtung GmbH ist die chemische Vernickelung von Aluminium-, Kupfer-, Stahl- und Messing-Bauteilen, üblicherweise mit Schichtdicken von 5 bis 50 μm . Darüber hinaus werden die Beschichtung mit Nickelsulfamat oder Gold, die Passivierung von Aluminium oder Edelstahl, Glasperlenstrahlen und einige Sonderverfahren angeboten. [14] Solche sind zum Beispiel das Färben von Messing, chemisches Glänzen oder die Bauteilreinigung bzw. Entfernung von Oxidschichten und Beschichtungen. [15]

Das Sortiment der CMF Oberflächenbeschichtung GmbH umfasst mehrere Tausend Bauteile. Diese können ein Gewicht von bis zu 500 kg besitzen. Dabei wird ersichtlich, dass hauptsächlich Einzelteile und Kleinserien beschichtet werden. Großserien werden nur vereinzelt bearbeitet. Durch die unterschiedlichen Geometrien und Materialeigenschaften gibt es keinen einheitlichen Prozessablauf, sondern stets spezifische Änderungen der Prozessführung hinsichtlich Verweilzeiten oder Badanwendungen. Auch die abweichenden Anlieferungszustände der Bauteile lassen eine allgemein gültige Prozessführung bisher nicht zu. So sind einige Bauteile stark mit Fetten und Ölen verunreinigt oder zeigen teilweise bereits fortgeschrittene Korrosionserscheinungen.

4. Untersuchungen am Kühlschmiermittel

Die Fertigung der Aluminium-Bauteile erfolgt auf zwei CNC-Fräsen, Tiltenta 6 (T6) und Tiltenta 7 (T7). Diese werden sowohl zur Bearbeitung von Aluminium als auch von Edelstahl genutzt. Somit könnten noch Restspäne des Edelstahls im Kühlschmiermittel vorliegen. Grundsätzlich ist davon abzuraten, Aluminium und Edelstahl zusammen auf einer Fräse zu bearbeiten. Durch das Kühlschmiermittel wird eine korrosive Umgebung geschaffen, wodurch es bei Kontakt beider Metalle zur Korrosion des Aluminiums kommt. [16] Deutlich wird dies bei Betrachtung der elektrochemischen Spannungsreihe. [8] Aluminium besitzt ein Standardpotential von -1,66 V. Hauptbestandteile von Edelstahl sind Eisen, Nickel und Chrom. Eisen, Nickel und Chrom weisen mit -0,02 V (Fe), -0,23 V (Ni) und -0,74 V (Cr) deutlich höhere Standardpotentiale auf. Dadurch kommt es bei Kontakt der Legierungen in korrosiver Umgebung zu einer elektrochemischen Korrosion des unedleren Metalls, in diesem Fall Aluminium.

Zink ist ein häufig verwendetes Element in Aluminiumlegierungen. Als Ursache für die weißen Flecken wurde daher zunächst eine Kontaktkorrosion zwischen dem noch im Kühlschmiermittel zurückgebliebenen Edelstahl und Zink vermutet. Dadurch bildet sich Zinkoxid auf der Bauteil-Oberfläche, welches eine weiße Farbe besitzt. Falls dieses im Laufe der Vorbehandlung nicht restlos beseitigt werden kann, erscheint es somit als weiße Flecken auf der vernickelten Oberfläche. Des Weiteren ist auffällig, dass sich die Flecken entlang der sichtbaren Bearbeitungsspuren des Fräswerkzeuges befinden. Das Kühlschmiermittel wird in Pulverform an die Partnerfirma mkf GmbH geliefert und vor Ort mit Wasser angesetzt.

Zur Untersuchung des Kühlschmiermittels wurden jeweils 500 ml aus den CNC-Fräsen T6 und T7 als Proben abgefüllt.

4.1 Voruntersuchungen

Zunächst wurde untersucht, ob sich Edelstahlspäne im Kühlschmiermittel nachweisen lassen. Handelt es sich bei den Spänen um ferritischen Edelstahl so können diese mit einem Magneten nachgewiesen werden. Dazu wurde ein Magnet an den Probenbehälter gelegt. Hierbei war deutlich die Anhaftung von Edelstahlspänen zu sehen. Jedoch konnten in der Probe T7 mehr Edelstahlspäne nachgewiesen werden als in der Probe T6. Somit sind Auswirkungen der Edelstahlspäne in der CNC-Fräse Tiltenta T7 wahrscheinlicher.

Um eine mögliche Reaktion des Edelstahls mit Zink zu erzwingen, wurde das Kühlschmiermittel beider CNC-Fräsen T6 und T7 auf ein Probebauteil gegeben. Dabei wurde es mechanisch, mittels eines sauberen Tuches, verrieben, eine Stunde auf dem Bauteil belassen und anschließend abgewischt. Durch den Versuch kann eine mögliche Reaktion schnell und einfach untersucht werden. Damit eine Reaktion mit Oberflächenverunreinigungen ausgeschlossen werden konnte, wurde die Oberfläche vorher mit Aceton gereinigt. Zur effektiveren Reinigung kann eine Behandlung der Oberfläche mittels Niederdruckplasma durchgeführt werden. Diese wurde hierbei jedoch nicht als notwendig angesehen, da es sich um eine unbehandelte Rohteilprobe handelte. Zudem wurde die Oberfläche zusätzlich bis zum Versuch durch eine Kunststoffolie geschützt. Somit ist nicht von außerartigen Kontaminationen der Materialoberfläche auszugehen.



Abbildung 5: Probebauteil gereinigt



Abbildung 6: Probebauteil bei Kontakt mit Kühlschmiermittel

In Abbildung 5 ist das gereinigte Probebauteil zu sehen. Es sind typische Bearbeitungsspuren des Fräsen sowie einige Kratzer zu erkennen. Abbildung 6 zeigt das Probebauteil nach dem Kontakt mit dem Kühlschmiermittel. Es sind keine sichtbaren Veränderungen der Oberflächenstruktur, der Färbung oder des Glanzes zu erkennen. Eine Reaktion, die das Auftreten der weißen Flecken zur Folge hätte, fand somit nicht erkennbar statt. Um eine zeitverzögerte bzw. langwierige Reaktion ausschließen zu können, wurde das Bauteil nach 2 Wochen nochmal betrachtet, ohne Veränderungen feststellen zu können.

4.2 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Bei der Röntgenfluoreszenzanalyse wird die Probe mit Röntgenstrahlung beschossen und ein Elektron aus seiner Atomschale geschleudert. Dadurch kann ein Elektron der höheren Energieniveaus in Schalen niedrigerer Energieniveaus zurückspringen und gibt dabei die Energiedifferenz in Form von Strahlung ab. Diese Fluoreszenzstrahlung besitzt einen elementspezifischen Energiewert und wird vom Messgerät erfasst. [17] Je häufiger der Wert erfasst werden kann, desto größer ist sein Masseanteil in der Probe. Der Masseanteil wird dann in Masseprozent ausgegeben. Dargestellt wird er in Form eines Diagramms. Die Y-Achse stellt die Anzahl der Energieerfassungen dar, die X-Achse zeigt den spezifischen Energiewert in keV (Kiloelektronenvolt).

Die Untersuchung dient der näheren Bestimmung von eisenhaltigen Spanresten im Kühlschmiermittel. Dazu wurden jeweils 10 ml der Proben T6 und T7 in einen Flüssigkeitsbecher (Küvette) gefüllt und unter dem RFA-Messgerät untersucht. [18] Um Abweichungen besser erkennen zu können, wurde als Referenz ein Flüssigkeitsbecher mit vollentsalztem Wasser (VE-Wasser) analysiert.

Die Peaks werden mit den Bezeichnungen der erfassten Elemente, aus welcher Atomschale das erfasste Teilchen stammt und der Art des Übergangs markiert. Ein einfacher Übergang (z.B. von der K-Schale zur L-Schale) wird gekennzeichnet durch den griechischen Buchstaben „ α “. Ein doppelter Übergang (z.B. von der K-Schale zur M-Schale) wird mit dem griechischen Buchstaben „ β “ gekennzeichnet. [19]

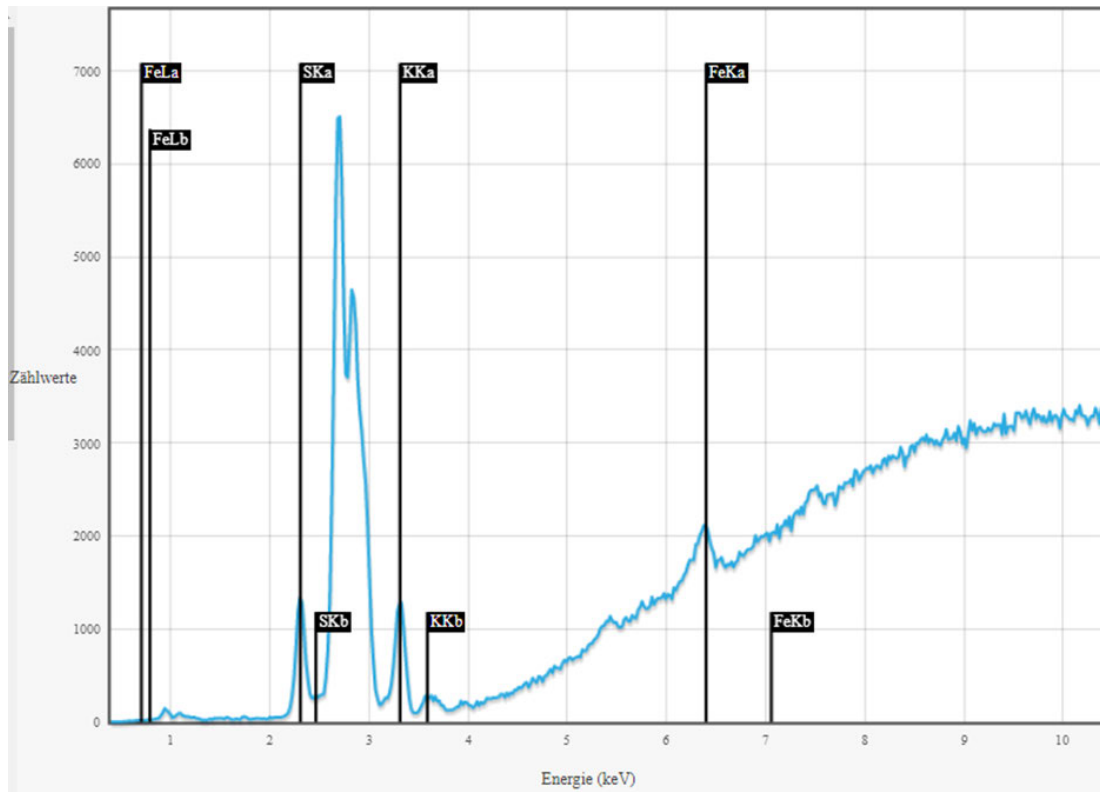


Abbildung 7: RFA-Diagramm Probe T6

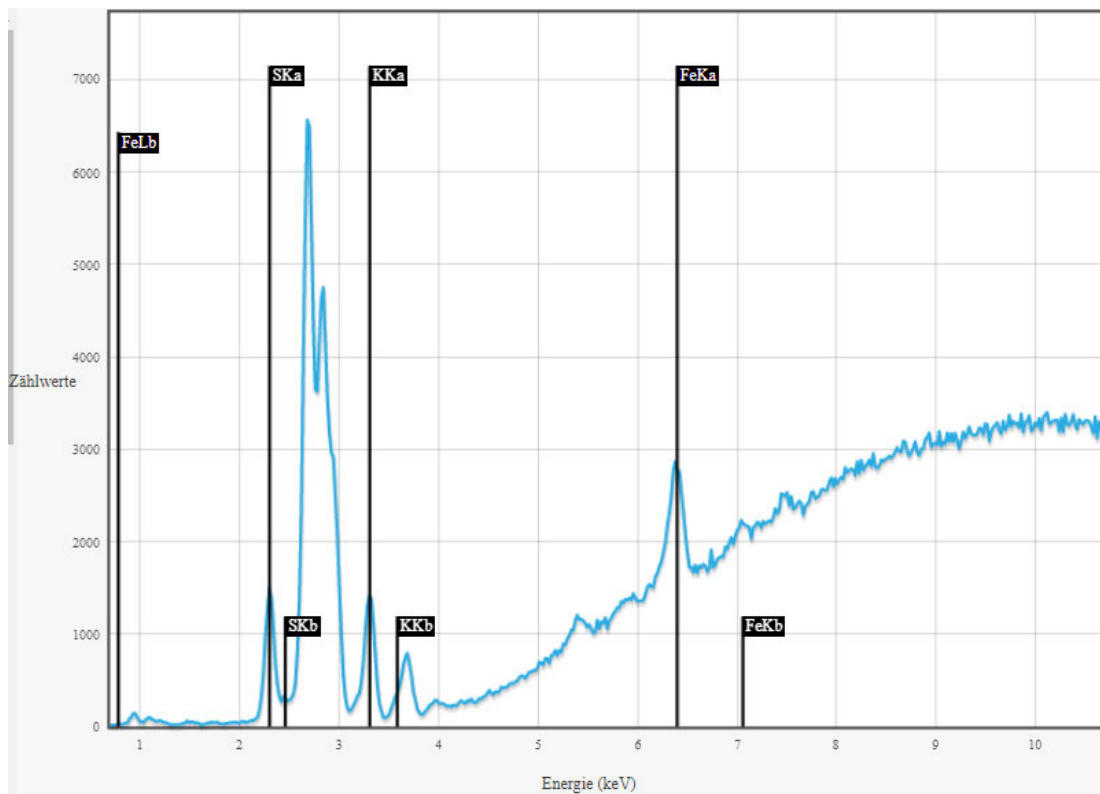


Abbildung 8: RFA-Diagramm Probe T7

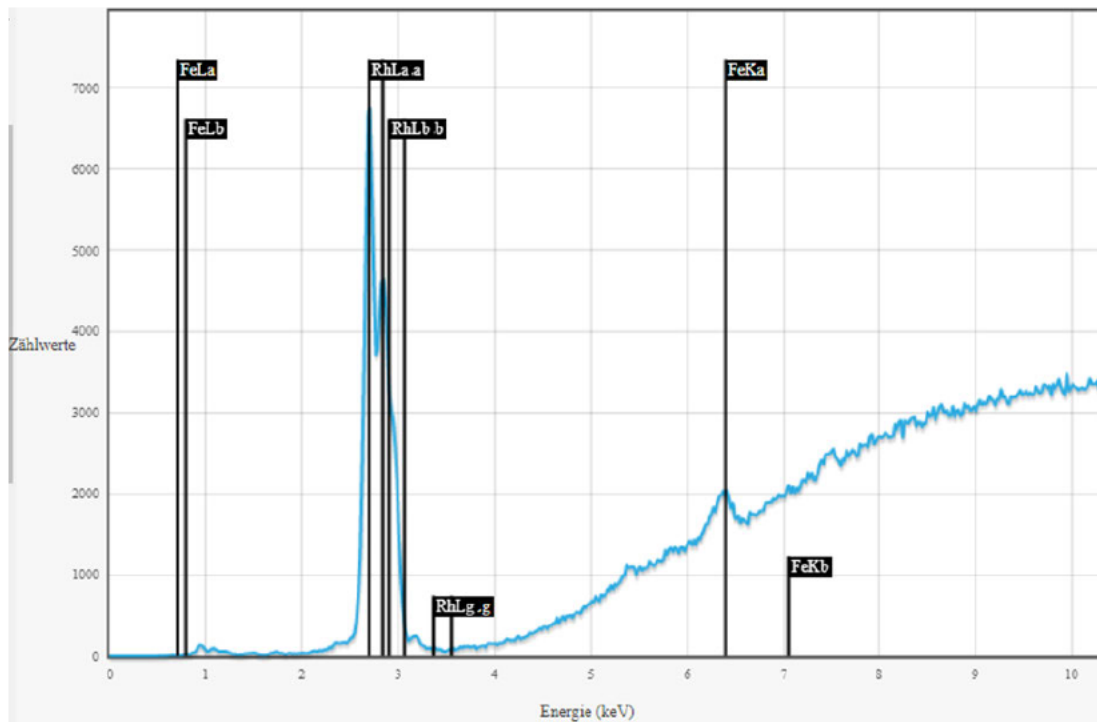


Abbildung 9: RFA-Diagramm Probe VE-Wasser

	Probe T6	Probe T7	Probe VE-Wasser	Probe T6 resultierend	Probe T7 resultierend
FeLa	25	0	36	-	-
FeLb	34	18	42	-	-
FeKa	2124	2865	2032	92	833
FeKb	2016	2232	2044	-	188

Tabelle 2: Zählwerte RFA Kühlschmiermittel
(Angaben in counts per second)

Es wird deutlich, dass sich in beiden Proben höhere Werte an Eisen nachweisen lassen. Jedoch ist der Eisengehalt in der Probe T7 wesentlich höher. Somit ist zu vermuten, dass das Fehlerbild der weißen Flecke hauptsächlich auf Bauteilen auftritt, die auf der CNC-Fräse T7 gefertigt werden. Die markanten Peaks in den Proben T6 und T7 konnten den Elementen Schwefel und Kalium zugeordnet werden. Deren hoher Anteil kann auf eine beabsichtigte Zugabe in das Kühlschmiermittel zurückgeführt werden. Kalium findet in Form von Kaliumseife Einsatz als Emulgator, um die Bildung einer Ölschicht auf der Bauteil-Oberfläche zu verhindern. Schwefelverbindungen werden dem Kühlschmiermittel zugegeben, um die Schneidleistung bei schweren Zerspanungseingriffen zu steigern. [20] Vor allem bei der Bearbeitung von Edelstahl

sind hohe Zerspanungskräfte erforderlich. Diese werden deutlich anhand der geringen Schnittgeschwindigkeiten und hohen Schnittkräfte beim Fräsen. [21]

4.3 Firmeninterne Labortests

Unabhängig der möglichen Edelstahl-Späne im Kühlschmiermittel wurde dieses auf weitere Bestandteile getestet, die eine korrosive Wirkung hervorrufen oder begünstigen. So wurden im firmeninternen Labor Schnelltests zur Untersuchung der Konzentration an Chlorverbindungen sowie der Nitrat- und Nitrit-Konzentration im Kühlschmiermittel durchgeführt. Verwendet wurden dafür die Schnelltests Quantofix Nitrit/Nitrat der Firma MACHERY-NAGEL GmbH & Co. KG und MQuant Chlor-Test der Firma Merck KGaA.

Das Funktionsprinzip des Schnelltest für Chlorverbindungen ist ein visueller Farbumschlag. Dabei erfolgt eine Reaktion der Chlorverbindungen mit Diethyl-p-phenylen-diamin (DPD), wodurch ein rotvioletter Farbstoff entsteht. Bei der Durchführung werden 6 ml der Probe in beide Probenbehälter gefüllt. Anschließend wird ein Messlöffel des Indikatorpulver (enthält Borsäure) in den rechten Probenbehälter gegeben (siehe Abbildung 11). Je höher die Konzentration an Chlorverbindungen, desto intensiver die Färbung der Probe. Die Färbung wird nach 60 Sekunden mit konzentrationsspezifischen Farbscheiben verglichen und der jeweiligen Konzentration zugeordnet. Die relevanten Querempfindlichkeiten des Schnelltests mit Fremdstoffen sind in Tabelle 3 aufgelistet. [22]

Die Teststäbchen des Schnelltest für Nitrat und Nitrit werden für eine Sekunde in die Probe getaucht. Dabei erfolgt eine Griess-Reaktion und es kommt zu einer rosaroten Färbung des Teststäbchens. Nach 60 Sekunden kann die Färbung der beiden Testfelder mit den Farbskalen verglichen und damit der jeweiligen Konzentration zugeordnet werden. Auch hier gilt je höher die Nitrit-/Nitratkonzentration, desto intensiver die Färbung des Teststäbchens. Die linke Farbskala stellt die Nitrat-Konzentration dar, die rechte Farbskala zeigt die Nitrit-Konzentration (siehe Abbildung 10). Beide werden jeweils in mg/l angegeben. Die relevanten Querempfindlichkeiten sind ebenfalls in Tabelle 3 dargestellt. [23] [24]

Beide Proben T7 und T6 wurden vorher durch Filterpapier gegeben, um grobe Schwebstoffe herauszufiltern und die Eigenfärbung sowie Trübung der Proben zu verringern. Dadurch wird der stattfindende Farbumschlag im Schnelltest für Chlorverbindungen deutlich sichtbarer.

Schnelltest	Fremdstoff	Grenzwert (mg/l)
MQuant	Al ³⁺	250
	Fe ³⁺	100
	Cr ³⁺	250
	S ²⁻	0,1
Quantofix	Al ³⁺	1000
	Cr ³⁺	1000
	K ⁺	1000
	Ni ²⁺	1000

Tabelle 3: Querempfindlichkeiten interne Labortests

[22] [24]

Die ermittelten Messwerte der durchgeführten Schnelltests für Chlorverbindungen und Nitrat/Nitrit sind nachfolgend tabellarisch zusammengefasst.

Schnelltest	nachzuweisende Verbindung	Probe T7	Probe T6
MQuant	Chlorverbindungen (mg/l)	0,25	0,25
Quantofix	Nitrat (mg/l)	0	25
Quantofix	Nitrit (mg/l)	0	5

Tabelle 4: Messwerte interne Labortests

In Probe T7 konnten durch den Schnelltest von Quantofix weder Nitrat noch Nitrit nachgewiesen werden. Jedoch konnte eine geringe Konzentration von 0,25 mg/l an Chlorverbindungen festgestellt werden.

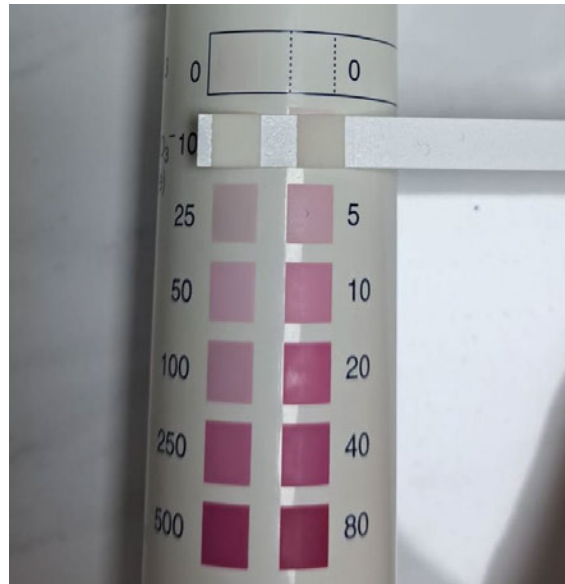


Abbildung 10: Nitrat-/Nitrit-Test Quantofix Probe T7



Abbildung 11: Schnelltest Chlorverbindungen MQuant Probe T7

Die Probe T6 weist sowohl eine Nitrat-Konzentration von 25 mg/l, als auch eine Nitrit-Konzentration von 5 mg/l auf. Durch den Schnelltest von MQuant konnte eine geringe Konzentration von 0,25 mg/l an Chlorverbindungen bestimmt werden.

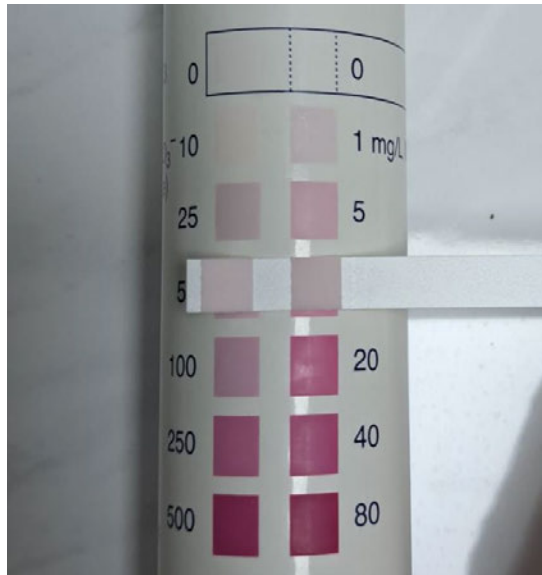


Abbildung 12: Nitrat-/Nitrit-Test Quantofix Probe T6

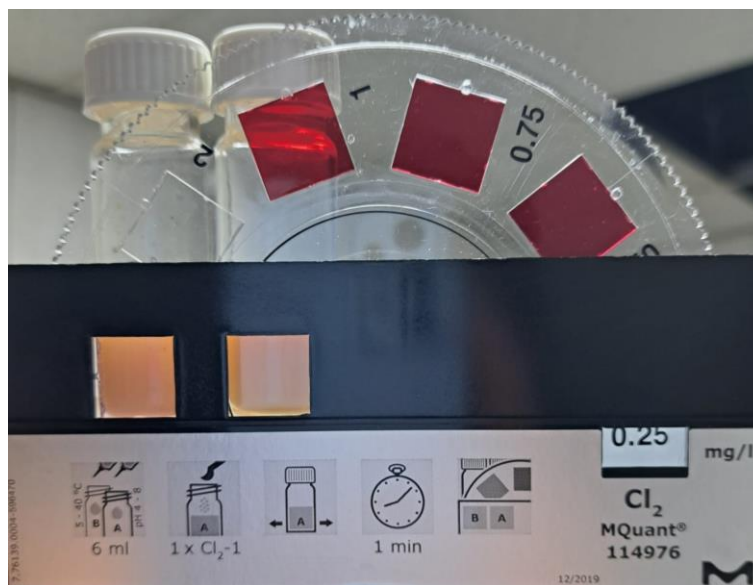


Abbildung 13: Schnelltest Chlorverbindungen MQuant Probe T6

Nitrit wird im Kühlschmierstoff als Korrosionsschutzmittel verwendet. Somit sollte seine Konzentration nicht zu gering ausfallen. [25] Jedoch gelten Nitrite auch als krebserregend und unterliegen damit strengen Regularien zu deren Konzentration. So darf die Konzentration den Wert von 20 mg/l nicht überschreiten. [26]

Durch den Kontakt mit Sauerstoff bildet sich auf Aluminiumbauteilen eine Aluminiumoxid-Schicht. Diese schützt das Substrat vor Korrosion. Durch die Chlorverbindungen oder auch

Chloride wird diese Schicht jedoch zerstört und der Grundwerkstoff kann durch Korrosion angegriffen werden. Gerade Lochfraß ist eine häufige Form der Korrosion bei Aluminiumbauteilen. [27] Dieser Lochfraß könnte in Verbindung mit dem geringen Gehalt an Nitriten, als Korrosionsschutzmittel, ebenfalls die weißen Flecke auf dem Bauteil erklären.

4.4 Firmenexterne Labortests

Zusätzlich zu firmeninternen Untersuchungen im Labor wurde durch die mkf GmbH eine externe Laboruntersuchung durch die Firma hebro chemie in Mönchengladbach angefordert. Diese liefern das Ansatzpulver für das Kühlschmiermittel der CNC-Fräsen. Für die Untersuchungen wurden Proben des Ansatzwassers sowie Kühlschmiermittel-Proben beider CNC-Fräsen T6 und T7 bereitgestellt. Zudem wurde eine Kühlschmiermittel-Probe der CNC-Fräse Mazak analysiert. Diese ist für die Ausarbeitung jedoch nicht von Bedeutung.

	Ansatzwasser	Mazak	Tiltenta 7	Tiltenta 6
Aussehen	klar, farblos	beige	beige	beige
Späne Test (DIN 51360 T2)	-	0	0	0
pH-Wert	7,8	8,0	8,2	8,4
Leitfähigkeit (µS/cm)	230	3110	2250	2780
Konz. nach Refraktometer (%)	-	8,2	6,5	7,5
Konz. nach Säurespaltung (%)	-	9,0	7,3	8,4
aufschwimmendes Öl (%)	-	n. n.	n. n.	n. n.
Gesamthärte (°dH)	5	5	5	8
Karbonathärte (°dH)	4	-	-	-
Nitrat (mg/l)	10	-	-	-
Nitrit (mg/L)	-	n. n.	5	7
Kupfer (mg/l)	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Eisen (mg/l)	-	18	2	2
Chlorid (mg/l)	25	46	19	65
Bio-Test (KBE/ml)				
Bakterien	n. n.	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁷
Hefen	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Pilze	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.

Abbildung 14: Analyse Kühlschmiermittel hebro chemie

[28]¹

¹ Quelle nicht öffentlich zugänglich

Das Ansatzwasser ist mit 5 °dH weich und weist einen Chlorid-Gehalt von 25 mg/l auf. Damit wird es durch hebro chemie als mäßig korrosiv eingeschätzt. Durch hebro chemie wird eine Aufhärtung um 8 °dH empfohlen. [28]

Es fällt auf, dass im Späne-Test durch hebro chemie keine Restspäne nachgewiesen werden konnten. Ebenso wurde durch hebro chemie in beiden Proben nur ein geringer Eisen-Gehalt ermittelt. [28] Allerdings wurden durch eigene Untersuchungen eindeutig Späne in beiden Proben nachgewiesen. Grund für die abweichende Messung können unterschiedliche Kühlschmiermittelproben sein, die zu verschiedenen Zeitpunkten entnommen wurden. Auch eine unterschiedliche Durchmischung des Kühlschmiermittels vor der Probenentnahme ist möglich. Dadurch könnten sich die Späne in der Maschine abgesetzt haben und damit weniger in der Probe vorhanden sein.

Des Weiteren weicht die Nitrat- und Nitrit-Konzentration teilweise stark von den durchgeführten Schnelltests ab. So wurde in Probe T7 Nitrit nachgewiesen, im Schnelltest konnte dies allerdings nicht festgestellt werden. Sowohl im Schnelltest, als auch den firmenexternen Untersuchungen konnte kein Nitrat in Probe T7 gefunden werden. Der Nitrat-Gehalt in Probe T6 weicht am stärksten vom Schnelltest ab. Durch hebro chemie wurde kein Nitrat festgestellt. Im Schnelltest wurde dennoch eine Nitrat-Konzentration von 25 mg/l bestimmt. Die Nitrit-konzentration in Probe T6 weicht mit 2 mg/l nur leicht ab. [28]

Die ermittelten Abweichungen können ebenfalls durch die unterschiedlichen Proben erklärt werden, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten entnommen wurden. Möglich wären auch Abweichungen aufgrund unterschiedlicher Testverfahren. Allerdings ist bei den externen Labortests nicht angegeben, welches Testverfahren verwendet wurde. Einen weiteren Einfluss können Querempfindlichkeiten darstellen. So ist für den Schnelltest Quantofix Nitrat/Nitrit der Einfluss von Aluminium-, Nickel- und Chrom-Ionen aufgeführt. Da auf der Fräsmaschine Aluminium und Edelstahl (Hauptlegierungselemente u.a. Chrom und Nickel) bearbeitet wird ist es wahrscheinlich, dass sich besagte Ionen im Kühlschmiermittel befinden. Auch der Einfluss durch Kalium-Ionen ist mit verzeichnet und begründet. Kalium konnte bei der RFA-Untersuchung des Kühlschmiermittels nachgewiesen werden (siehe 4.2 „Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)“).

Die größte Auffälligkeit stellt der gemessene Chlorid-Gehalt in Probe T6 dar. Mit 65 mg/l konnte hier wesentlich mehr Chlorid analysiert werden als in Probe T7 mit 19 mg/l. [28]

Damit ist dem Kühlschmiermittel der CNC-Fräsmaschine Tiltenta T6 eine höhere korrosive Wirkung zuzuweisen.

In beiden CNC-Fräsen konnte eine verstärkte Schaumbildung beobachtet werden. Ursachen für die Schaumbildung können neben einer geringen Härte auch Bakterien, Hefen oder Pilze sein. [29] Daraufhin wurde ebenso eine Analyse auf Bakterien, Hefen und Pilze durchgeführt. Die Probe T6 mit 10^6 KBE/ml und Probe T7 mit 10^7 KBE/ml zeigen eine hohe Konzentration an Bakterien. Hiermit kann die Schaumbildung in Kombination mit der geringen Härte erklärt werden. Auch der geringe pH-Wert ist Folge des bakteriellen Befalls des Kühlschmiermittels. [29] Darüber hinaus sind Bakterien mögliche Ursachen für eine Korrosion an den Aluminium-Bauteilen. [30] Somit lässt sich vermuten, dass die weißen Flecke eine Korrosion hervorgerufen durch Bakterien darstellen. [28]

Grundsätzlich ist anzumerken, dass es sich bei den firmeninternen Untersuchungen lediglich um Schnelltests handelt. Damit ist der Genauigkeit und Aussagekraft der Laboruntersuchungen durch hebro chemie eine größere Bedeutung zuzuweisen.

Zusammenfassend ist eine korrosive Wirkung des Chlorid und Chlorverbindungen weiterhin möglich. Auch der Nachweis des Eisens lässt die Vermutung einer Korrosion zwischen Aluminium und Edelstahl auf der CNC-Fräse zu. Der pH-Wert im Kühlschmiermittel sollte wieder angehoben und die CNC-Fräsen gründlich desinfiziert werden, um den bakteriellen Befall zu verringern. [28]

5. Untersuchungen am Bauteil

5.1 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Damit das meist großflächige Auftreten des Fehlerbildes mit den weißen Flecken durch die Kontaktkorrosion möglich ist, muss sich ein erhöhter Zinkgehalt in der Aluminiumlegierung befinden. Um diesen zu ermitteln, wird die Röntgenfluoreszenzanalyse durchgeführt. Dafür wurden durch die Partnerfirma vier Probeteile aus EN AW-5083 zur Verfügung gestellt. Diese Legierung findet ebenfalls Anwendung bei den fehlerbehafteten Bauteilen. Die Proben 1, 2 und 4 stammen aus einer aktuellen Materialcharge, die nach dem Beschichtungsprozess Fehlerbilder aufwies. Bei Probe 1 handelt es sich um ein vernickeltes Bauteil ohne fehlerhafte Oberfläche. Probe 2 ist ein Bauteil mit dem Fehlerbild der weißen Flecke. Probe 3

ist ein vernickeltes Bauteil aus einer älteren Charge, bei der es keine Reklamationen oder Beschichtungsfehler gab. Bei Probe 4 handelt es sich um ein nicht vernickeltes Rohteil. Das Substrat der vernickelten Proben wurde durch Abschleifen der Nickel-Phosphor-Beschichtung für die Messungen freigelegt, um einen Einfluss der Beschichtung auf die Messung auszuschließen. Für die Untersuchung wurde das Handspektrometer der Hochschule Mittweida mit der Messmethode Aluminium LE verwendet. [31] Die Durchführung erfolgte in der Hochschule Mittweida unter Betreuung durch Dipl.-Ing. (FH) Frank Poschmann.

Insgesamt wurden jeweils drei Messungen an unterschiedlichen Stellen der vier Proben durchgeführt. In Tabelle 5 sind die Messwerte des Versuchs aufgeführt. Hierbei ist der Mittelwert aus den drei Messungen fett markiert dargestellt. Zum Vergleich sind die vorgegebenen Grenzwerte der chemischen Zusammensetzung der Aluminiumlegierung nach DIN EN 573-3 in Abbildung 15 dargestellt.

	Probe 1				Probe 2				Probe 3				Probe 4			
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
Mg	4,11	4,29	4,33	4,24	4,38	4,58	4,52	4,49	4,84	4,82	4,81	4,82	4,69	4,84	4,71	4,75
Al	94,11	94,05	94,25	94,14	93,44	93,59	93,66	93,56	94,23	93,42	93,56	93,74	94,3	95,03	94,75	94,69
Si	0,12	0,07	0,05	0,08	0,15	0,16	0,19	0,17	0,37	0,4	0,36	0,38	0,16	0,02	0,09	0,09
Cr	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Mn	0,44	0,44	0,45	0,44	0,43	0,44	0,43	0,43	0,49	0,49	0,5	0,49	0,43	0,43	0,43	0,43
Fe	0,13	0,14	0,13	0,13	0,17	0,17	0,18	0,17	0,38	0,39	0,37	0,38	0,17	0,17	0,17	0,17
Ni	0,15	0,15	0,13	0,14	0,11	0,1	0,06	0,09	0,03	0,04	0,04	0,04	0	0,01	0	0,00
Cu	0	0	0,01	0,00	0	0	0	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0	0	0	0,00
Zn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
Pb	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,03	0	0,01	0	0,00	0,02	0,04	0	0,02
Ti	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Zr	0,12	0,12	0,1	0,11	0,08	0,06	0,04	0,06	0,03	0,05	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01
Sn	0	0,01	0	0,00	0	0,01	0	0,00	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01

Tabelle 5: Messwerte RFA Bauteile
(Angaben in Masseprozent)

Bezeichnung der Legierung		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Bemerkungen	Anderer ^a Einzeln	Insgesamt ^b	Aluminium min.
Numerisch	Chemische Symbole															
EN AW-5083	EN AW-Al Mg4,5Mn0,7	0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,05-0,25	—	0,25	0,15	—	—	—	0,05	0,15	Rest

Abbildung 15: Chemische Zusammensetzung EN AW 5083
(Angaben in Masseprozent)

[5]

Bei den in Abbildung 15 dargestellten Werte handelt es sich um Höchstgrenzwerte, die nicht überschritten werden dürfen. Somit liegen alle Messwerte in den vorgeschriebenen Grenzen. Dennoch gibt es einige erklärbare Abweichungen unter den Messwerten.

Die Probe 3 musste noch einmal händisch nachgeschliffen werden, da sich noch ein Rest der Nickel-Phosphor-Beschichtung auf der Messfläche befand. Das erklärt auch die erhöhten Werte für Silizium und Eisen, da Siliziumcarbid als Schleifmittel verwendet wurde und die Schleifscheiben im Normalfall für Stähle verwendet worden sind. Beim Vergleich des gemessenen und des vorgegebenen Zinkanteils fällt auf, dass entgegen der Vermutung kein erhöhter Zinkanteil nachzuweisen ist. Stattdessen liegen die gemessenen Werte mit maximal 0,04 Masseprozent noch weit unter den DIN-Grenzwerten von 0,25 Masseprozent. Somit ist eine Kontaktkorrosion von Edelstahl und Zink unwahrscheinlich, da der Zinkanteil zu gering ist, um ein Fehlerbild in dieser Größenordnung zu bewirken.

5.2 Metallografie, Schliffbild

Zur Ursachenergründung des Fehlerbildes mit den braunen Flecken (siehe 2.1 „Fehlerbilder“: Abbildung 1) wurde ein metallografischer Schliff angefertigt. Zudem wurde die Oberfläche im Bereich der Flecken unter dem Laserscanningmikroskop genauer betrachtet. Verwendet wurde dafür das Mikroskop VK-X 210 (Keyence) der Hochschule Mittweida. [32] Durchgeführt wurden die Untersuchungen durch Herrn Dipl.-Ing. Andreas Eysert.

Für den Versuch wurde eine Probe aus Aluminium bereitgestellt, die das entsprechende Fehlerbild aufweist. Die Probe stammt aus einem Bauteil der mkf GmbH. Dieses wurde durch die CMF Oberflächenbeschichtung GmbH vernickelt und an den Kunden zurückgeschickt. Zum Auslieferungszeitpunkt war das Fehlerbild noch nicht zu erkennen. Erst nach einigen Wochen wurde das Bauteil mit Oberflächenfehlern vom Kunden zurückgesendet.

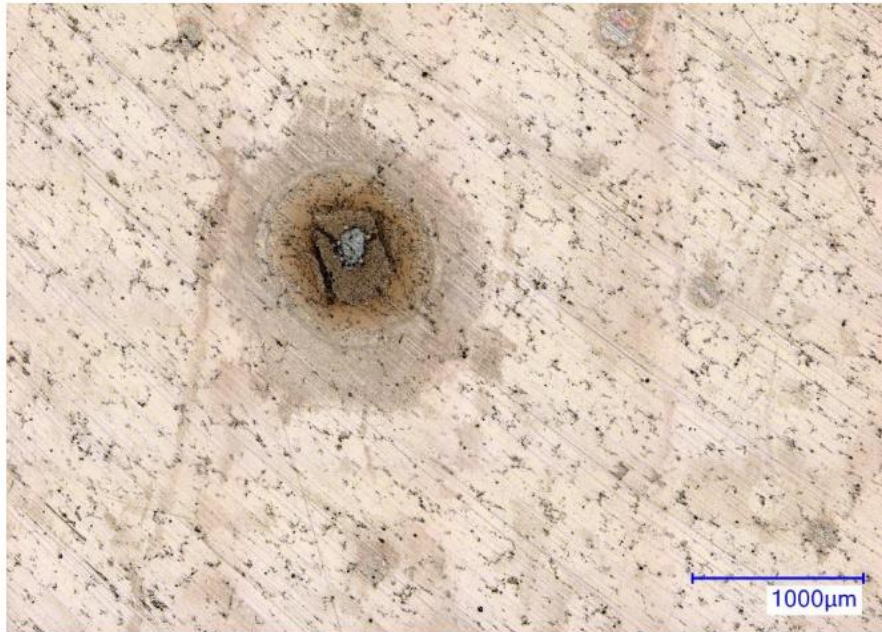


Abbildung 16: Laserscanningmikroskopie brauner Fleck Übersicht

[32]²

Das Bild wurde mit dem Objektiv 10x/0,30 und einer Vergrößerung von 20:1 aufgenommen.

[32]

Der braune Fleck hat einen Durchmesser von ungefähr 1000 μm und besitzt kein einheitliches Erscheinungsbild. Er scheint aus unterschiedlichen Konturen zu bestehen mit einem hellen gräulichen Zentrum. Es ist nicht erkennbar, ob sich das Fehlerbild auf der Oberfläche befindet oder von der Nickel-Phosphor-Schicht umschlossen wird.

Durch die nahezu kreisförmige Ausbildung des Fehlerbilds kann das Einwirkungen von Fremdstoffen nach dem Beschichtungsprozess als Ursache ausgeschlossen werden. Die Form widerlegt ein Auftropfen eines Zusatzstoffes wie Öl, Lösemittel oder Ähnliches.

Bei den zahlreichen schwarzen Punkten auf der Bauteiloberfläche handelt es sich eventuell um oberflächennahe Poren im Aluminiumsubstrat, die durch den Fräsprozess freigelegt wurden. Die bräunliche Färbung kann zudem auf eine Nickelverbindung hinweisen, welche durch chemische Reaktion oder Wärmezufuhr die entsprechende Färbung ausbildet.

Um die Beschaffenheit des Fleckes besser betrachten zu können, wurde dieser mit höherer Vergrößerung (160:1) mikroskopiert. [32]

² Quelle nicht öffentlich zugänglich

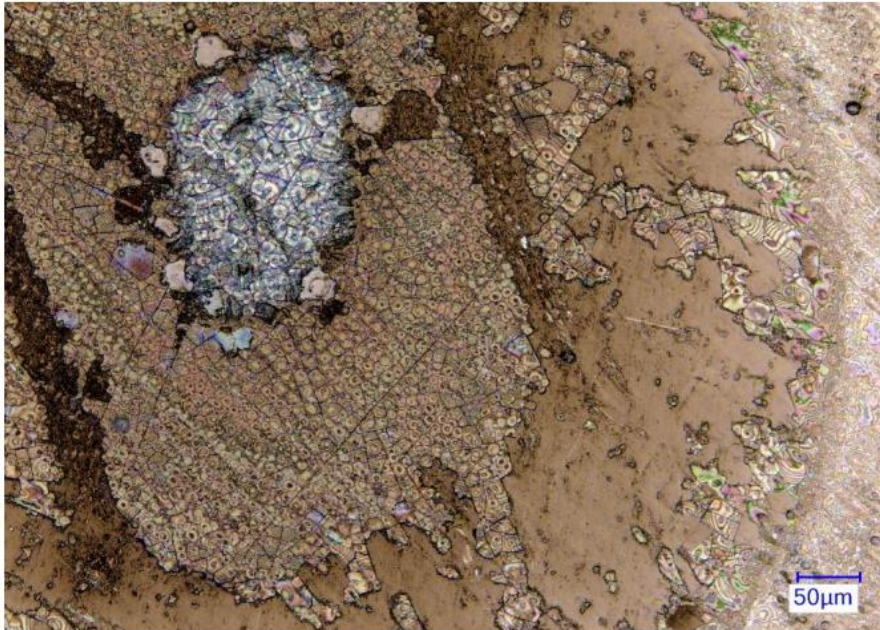


Abbildung 17: Laserscanningmikroskopie brauner Fleck detailliert

[32]

Das Bild wurde mit dem Objektiv 20x/0,46 aufgenommen. Es zeigt farblich unterschiedliche Strukturen, von hellbrauner bis dunkelbrauner Färbung. Das hellere Zentrum ist deutlich zu erkennen. [32]

Es lassen sich um das Zentrum herum einzelne Körner oder Kristallite vermuten, die sich flächig ausgebreitet haben. Allerdings ist dies durch deren Größe von stellenweise bis zu ca. 10 μm unwahrscheinlich. Vielmehr handelt es sich dabei um ein stark ausgebildetes Rissnetzwerk. Am Rand des Flecks sieht man großflächige Abplatzungen. [32]

Der Randbereich hat optische Ähnlichkeiten mit der Nickel-Phosphor-Schicht. Allerdings ist die enge ringartige Struktur deutlich anders als bei der Nickel-Phosphor-Beschichtung. Diese besitzt keine klare Struktur. Durch die absolut konturentreue Abscheidung der Nickelschicht sind lediglich die Konturen der mechanischen Bearbeitung sichtbar. Diese ziehen sich über das gesamte Bauteil (siehe Abbildung 16). Bei den Abplatzungen handelt es sich somit nicht um Teile der Nickel-Phosphor-Beschichtung. Diese liegt entweder unter dem Fleck oder konnte in dem Bereich gar nicht erst abgeschieden werden.

Bei der Mikroskopie konnte kein Glanz des braunen Flecks festgestellt werden. Daher handelt es sich bei dem Fehlerbild um keine metallischen Stoffe, wie z.B. durch Fremdabscheidungen.

[32][16] Zudem ist die Verbindung nicht löslich in Wasser oder Aceton, da sie durch nachträgliches Reinigen mit Hilfe der Lösemittel und eines Lappens nicht abzuwischen waren.

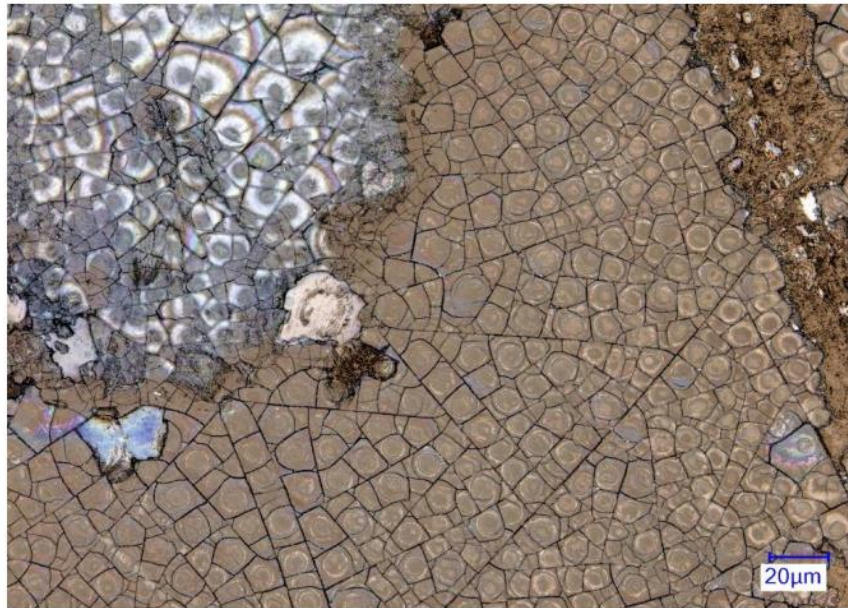


Abbildung 18: Laserscanningmikroskopie brauner Fleck Rissnetzwerk

[32]

Bei einer Vergrößerung von 400:1 kann die Vermutung des Rissnetzwerkes bestätigt werden. Dieses ist mit seinen zahlreichen Bruchschollen nun eindeutig zu sehen. [32]

Die Abplatzungen im äußeren Teil des Flecks (siehe Abbildung 17) und das stark ausgebildete Rissnetzwerk deuten auf eine sehr spröde und harte Schicht im Bereich des Fleckes hin. [32]

Aufgrund der farblichen Unterschiede wäre es möglich, dass es mehrere Verbindungen sind, die den Fleck ausbilden. Da die Verbindungen schwer löslich, nicht metallisch sowie spröde und hart sind, kann vermutet werden, dass es sich hierbei um Salze handelt.

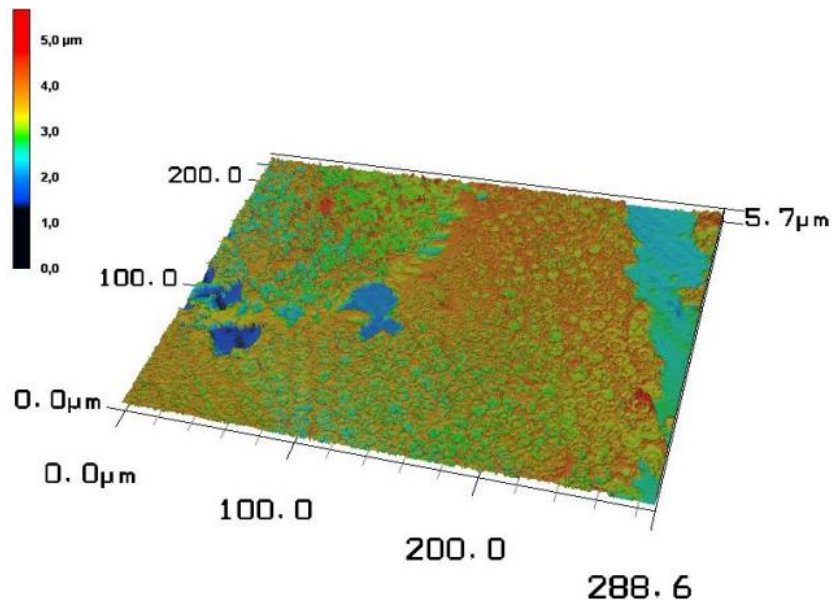


Abbildung 19: Laserscanningmikroskopie 3D-Oberfläche brauner Fleck

[32]

Um festzustellen, ob sich das Fehlerbild auf der Chemisch-Nickel-Schicht ausbildet oder von ihr umschlossen wird, wurde eine 3D-Oberfläche von Abbildung 18 erstellt. Die Ausgangshöhe, also die Nullebene liegt dabei auf der Nickel-Phosphor-Beschichtung.

Aufgrund des dargestellten Höhenprofils kann nun eindeutig festgelegt werden, dass sich der braune Fleck auf der Chemisch-Nickel-Beschichtung befindet. Der Großteil des Fehlers erstreckt sich über eine Höhe von ungefähr 3 bis 4 μm (grüne, gelbe und orange Bereiche) und liegt dabei über der Chemisch-Nickel-Schicht. Vereinzelt Stellen befinden sich bei 1 bis 2 μm (schwarze und blaue Bereiche). [32]

Die blauen Randbereiche zeigen einen sichtbaren Höhenunterschied von bis zu 2 μm im Vergleich zum restlichen Teil des Flecks. Sie liegen wesentlich niedriger. Auch hier sind somit die Abplatzungen in diesem Bereich ersichtlich. [32]

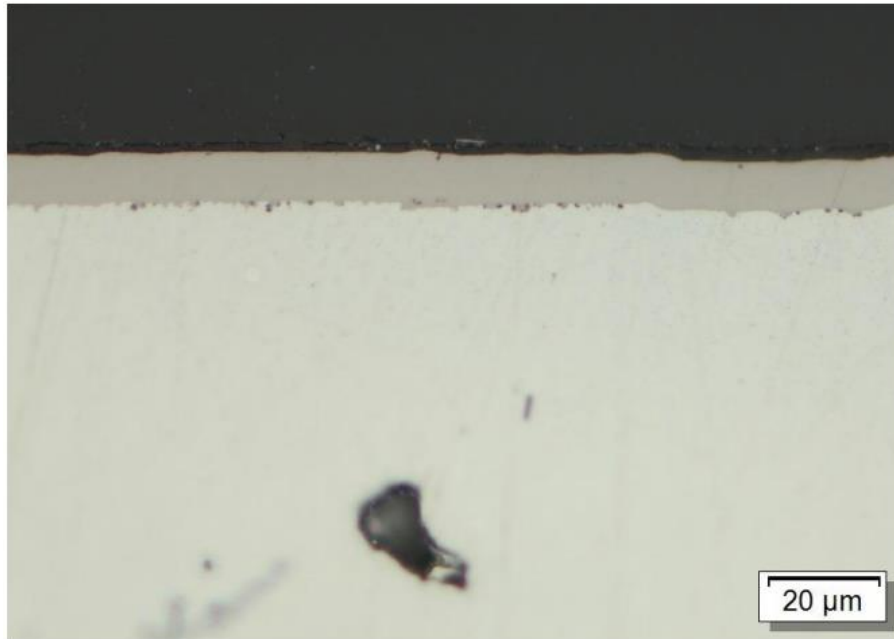


Abbildung 20: Schliffbild brauner Fleck

[32]

Um die Erkenntnisse der Laserscanningmikroskopie zu bestätigen, wurde ein metallografischer Schliff im Bereich des Flecks erstellt. Das entstandene Schliffbild wurde anschließend unter dem Lichtmikroskop BX60 (Olympus) der Hochschule Mittweida untersucht. [32]

Hier, hellgrau zu sehen, ist der Aluminiumgrundwerkstoff. Die darüber liegende graue Schicht ist die Nickel-Phosphor-Beschichtung. Diese beträgt ungefähr 10 μm Dicke und entspricht damit den vom Kunden geforderten Eigenschaften. Im Schliffbild schwarz dargestellt ist der Bereich des braunen Flecks. Möglich wären aber auch Oxide oder andere Verunreinigungen als Ursache für die oberste Schicht.

Durch das Schliffbild wird klar, dass die Chemisch-Nickel-Schicht scheinbar vollständig unverletzt ist. Der Fleck befindet sich also auch hier auf der Chemisch-Nickel-Schicht und durchdringt diese nicht bzw. wird nicht von dieser umschlossen. Dennoch kann nicht gesagt werden, ob die Chemisch-Nickel-Schicht an einer anderen Stelle des Flecks durchbrochen ist und dadurch Stoffe aus dem Grundwerkstoff austreten. Diese könnten dann das vorliegende Fehlerbild herbeirufen. Zur Untersuchung dessen müsste man beim Anfertigen des Schliffs genau diese Stelle treffen, was nur unter sehr hohem Zeit- und Arbeitsaufwand zu realisieren wäre.

Eine markante Auffälligkeit ist jedoch der große Lunker in der Aluminiumlegierung unterhalb des Flecks. Dieser ist durch den Gießprozess entstanden. Ursache für das Fehlerbild könnten somit auch Einschlüsse, wie z.B. Gase oder Flüssigkeiten, sein, die in dem Lunker eingeschlossen sind. Dieser könnte durch die spanende Bearbeitung freigesetzt worden oder durch den Wärmeeintrag in der Vorbehandlung aufgerissen sein. Auch die tatsächliche Größe des Lunkers und seine Ausbreitung kann im Schlibbild nicht festgelegt werden.

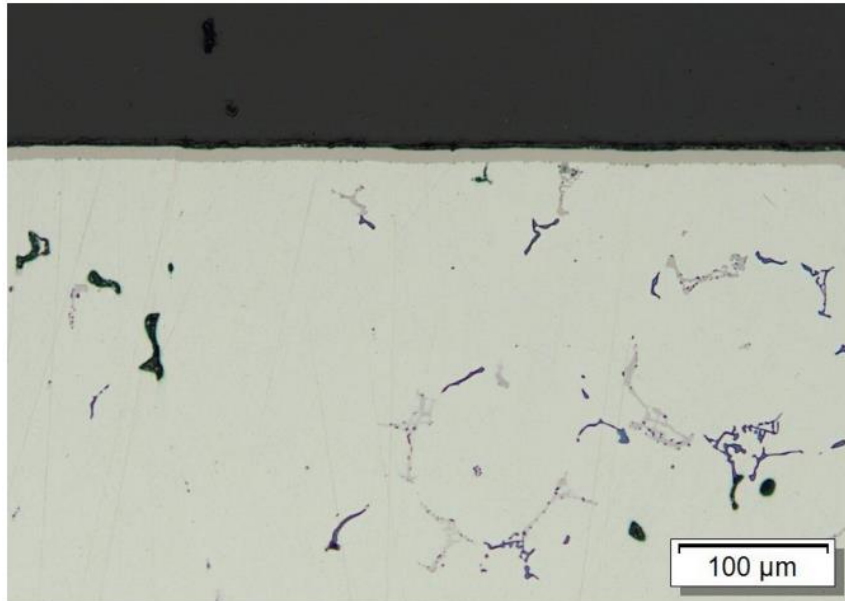


Abbildung 21: Schlibbild Grundwerkstoff

[32]

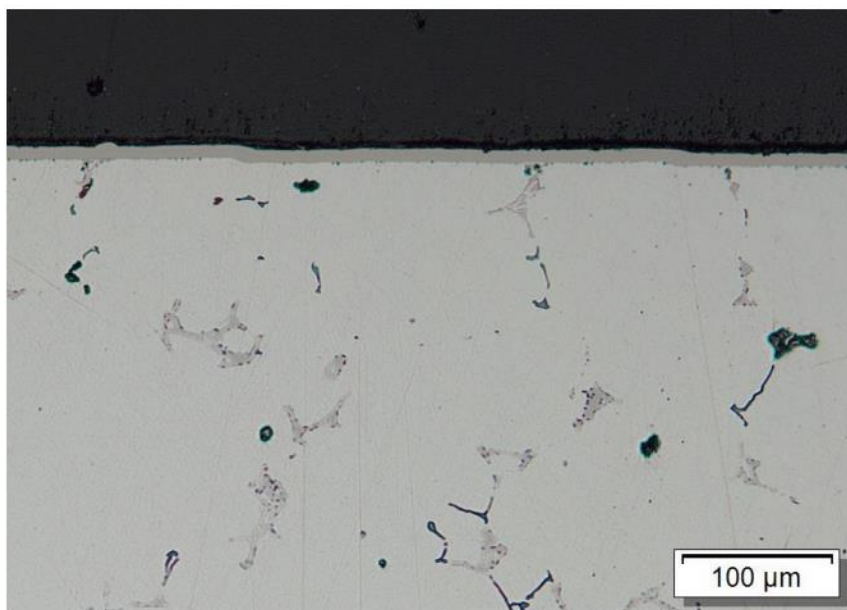


Abbildung 22: Schlibbild Grundwerkstoff 2

[32]

Die Abbildungen 21 und 22 zeigen weitere Schlifffbilder. Auffällig ist hier vor allem die Vielzahl an Fremdphasen und Lunkern in der Aluminiumlegierung. Nach Aussage eines Experten für das Gießen von Aluminiumlegierungen ist der Grund dafür ein unzureichendes Impellern oder Verunreinigungen der Schmelze. Diese können eine Ursache für die beiden bekannten Fehlerbilder darstellen. [33]

Zur Herstellung der Aluminiumlegierung wird das Rohaluminium als Blöcke aufgeschmolzen. Anschließend werden die jeweiligen Legierungselemente zugegeben. Silizium und Kupfer werden als Blöcke in die Schmelze gegeben. Aufgrund ihrer hohen Schmelztemperaturen von 1410°C (Silizium) und 1083°C (Kupfer) können diese nicht bei der Schmelztemperatur von Aluminium (660°C) aufgeschmolzen werden. [34] Darum werden sie im Vorfeld mit Aluminium vermischt und als Blöcke für die Herstellung der Aluminiumlegierung verkauft. Dadurch können auch Silizium und Kupfer in die Schmelze eingehen. Andere Legierungselemente, wie Chrom, werden mit einem Bindemittel versetzt, welches jedoch nicht in der Schmelze zurückbleibt. Die Schmelze wird dann manuell oder durch eine Rührvorrichtung vermengt. Damit wird eine mäßige Verteilung der Legierungselemente in der Schmelze bewirkt. Die tatsächliche gleichmäßige Vermengung findet jedoch erst durch das Impellern statt. Dabei werden Spülgasblasen in der Schmelze verteilt. Die Gase agglomerieren Verunreinigungen, wodurch diese auf der Oberfläche der Schmelze aufschwimmen und abgeschöpft werden können. [35] So werden beispielsweise Stickstoff und Chlor verwendet, um die Schmelze von Oxiden, Salzen und Erdalkalielelementen zu befreien. Zur Verhinderung von Poren durch Wasserstoffeinlagerungen wird die Schmelze mit Argon gespült. [33]

Bei längerer Standzeit der Schmelze setzen sich Legierungselemente ab, somit können diese ebenfalls lokal gehäuft auftreten. [33]

Nach dem Gießprozess sollte der erstarrte Aluminiumblock noch einige Zeit gelagert werden. Da die Bildung von Poren und Lunkern nie gänzlich verhindert werden kann, kommt es danach zu Ausgasungsvorgängen. Eingeschlossene Gase und Fremdstoffe können dabei aus der Aluminiumlegierung entweichen. Empfohlen wird hierbei eine Lagerungszeit von 4 Wochen. Wird diese Zeit nicht eingehalten, kann es noch während oder nach dem Beschichtungsprozess zu solchen Ausgasungen kommen, welche ebenfalls die braunen und weißen Flecke hervorrufen können. [33]

Die weißen Flecke können somit Verunreinigungen der Schmelze darstellen, die durch die Vorbehandlung ausgespült worden sind. Auch möglich wären Poren durch Wasserstoffeinlagerungen, die bei der mechanischen Bearbeitung auf der CNC-Fräse freigelegt werden. [33] Der Wasserstoff gelangt durch Dissoziation der Wassermoleküle aus der Luft in die Schmelze. [36] Zur Vermeidung der bleibenden Freilegung solcher Poren sollte eine Schleppschneide am Fräswerkzeug angebracht werden. Diese ist stumpfer als die Hauptschneide und drückt damit die Poren nach der Freilegung durch die Hauptschneide wieder mit Material zu.

Zur näheren Untersuchung der chemischen Zusammensetzung der braunen Flecke kann eine Untersuchung mittels Glimmentladungsspektroskopie (GDEOS) erfolgen. Dazu muss zuvor jedoch eine Messung der Probe mit Hilfe der Energiedispersiven Röntgenspektroskopie (EDX) durchgeführt werden, um die gesuchten chemischen Elemente einzugrenzen.

Um eine genaue Aussage über die Anzahl und Verteilung der Lunken im Bauteil treffen zu können, kann die Materialprobe unter einem Röntgengerät oder durch Computertomographie (CT) betrachtet werden. [33]

5.3 Rasterelektronenmikroskopie (REM)/Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX)

Da die Röntgenfluoreszenzanalyse keine weiteren Erkenntnisse liefern konnte, wurde die Probe mit dem Fehlerbild der weißen Flecken näher unter dem Zeiss Rasterelektronenmikroskop EVO 40 XVP der Hochschule Mittweida untersucht. Betreut wurden die Untersuchungen durch Herrn Enrico Gehrke.

Dabei soll genauer bestimmt werden, woraus die weißen Flecke bestehen und ob diese Erhebungen oder Vertiefungen in der Oberfläche darstellen. Handelt es sich um eine Korrosion, so wäre eine Erhebung an der Bauteiloberfläche zu erwarten. Es könnte sich bei den größeren Flecken auch um Verunreinigungen der Schmelze der Aluminiumlegierung handeln, die im Rahmen der Vorbehandlung entfernt wurden.

Für die Betrachtung wurde eine vernickelte Aluminiumprobe verwendet, die das besagte Fehlerbild aufweist.

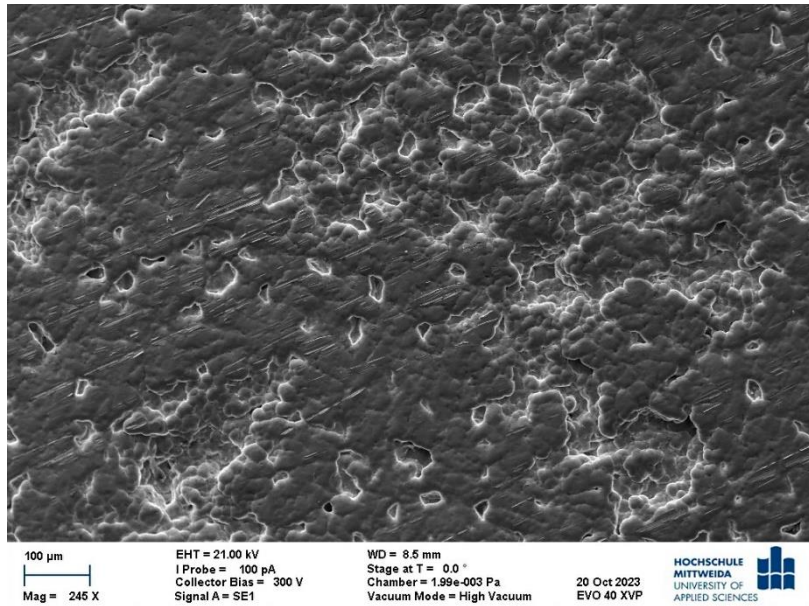


Abbildung 23: REM weiße Flecken

In Abbildung 23 ist ein Bereich mit mehreren der weißen Flecke zu sehen. Diese zeigen sich hier scheinbar als Vertiefungen in der Oberfläche. Sie haben eine Größe von 100 bis 300 µm. Gut zu erkennen ist die typische Struktur der Chemisch-Nickel-Beschichtung durch das kugelartige Keimwachstum. Diese entsteht durch die einzelnen Kristallisationsknospen, welche bei ihrem Wachstum zusammenwachsen. Es ist ebenso ersichtlich, dass sich die Chemisch-Nickel-Schicht auch in den weißen Flecken ausgebildet hat. Als parallele Linien sind die Bearbeitungsspuren durch die CNC-Fräse zu erkennen.

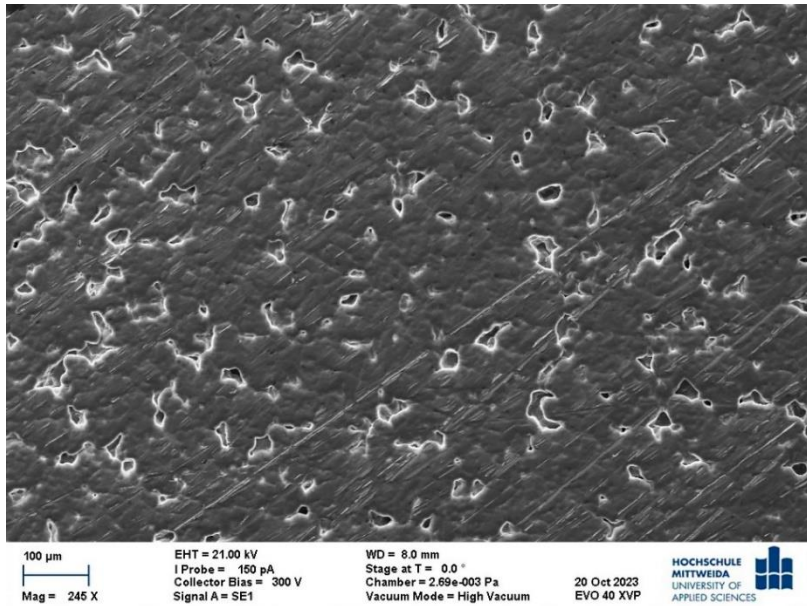


Abbildung 24: REM fehlerfreie Oberfläche

Im Vergleich zu einer Oberfläche ohne Fehlerbild (siehe Abbildung 24) wird deutlich, dass es sich bei den kleineren Vertiefungen um Poren handelt. Die Bauteiloberfläche scheint grundsätzlich eine erhöhte Porigkeit zu besitzen. Auch hier sind die typische Struktur der Chemisch-Nickel-Schicht sowie die Bearbeitungspuren sichtbar. Eventuell handelt es sich um Wasserstoffporen durch unzureichendes Spülen der Schmelze mit Argon. [33]

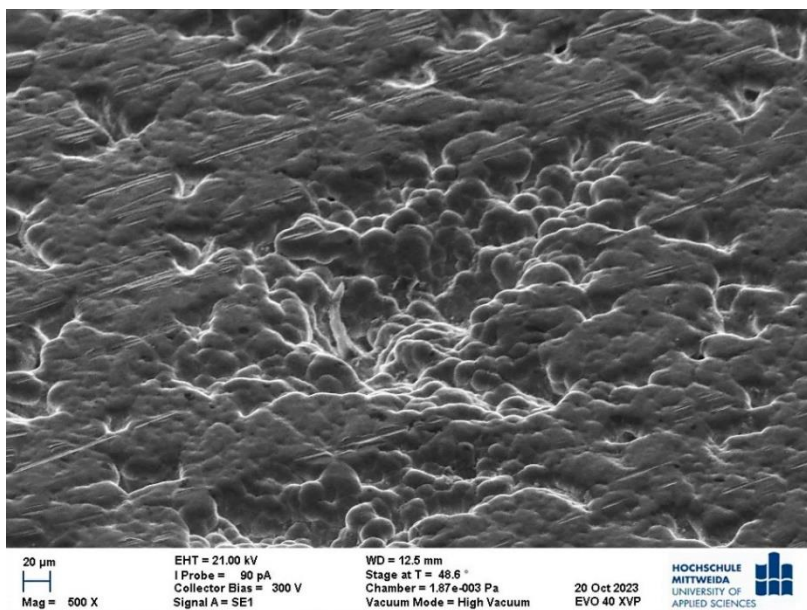


Abbildung 25: REM weiße Flecken geneigt

Zur eindeutigen Bestimmung der Höhengausbildung der Flecken wurde die Probe um 48.6° angekippt (siehe Abbildung 25). Durch den geneigten Blickwinkel wird deutlich, dass es sich tatsächlich um eine Vertiefung handelt. Somit liegt wahrscheinlich keine Korrosionserscheinung des Zinks mit dem Edelstahl vor. Es könnte dennoch sein, dass die Korrosion im Laufe der Vorbehandlung des Beschichtungsprozess ausgespült wurde. Dabei müssten dennoch erhöhte Zinkanteile in diesen Bereichen messbar sein.

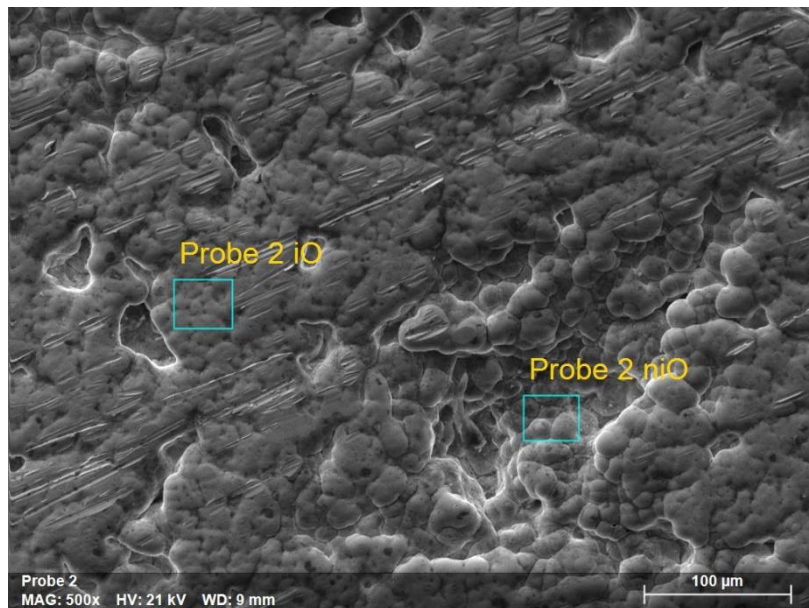


Abbildung 26: Messpunkte EDX weiße Flecken

Für den Nachweis der Elemente wird ein Messpunkt für die Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX) in den weißen Fleck gelegt (Probe 2 niO). Zum Vergleich der erfassten Werte wird ein weiterer Messpunkt in einen fehlerfreien Bereich der Oberfläche gelegt (Probe 2 iO). Beide wurden in Abbildung 26 erfasst.

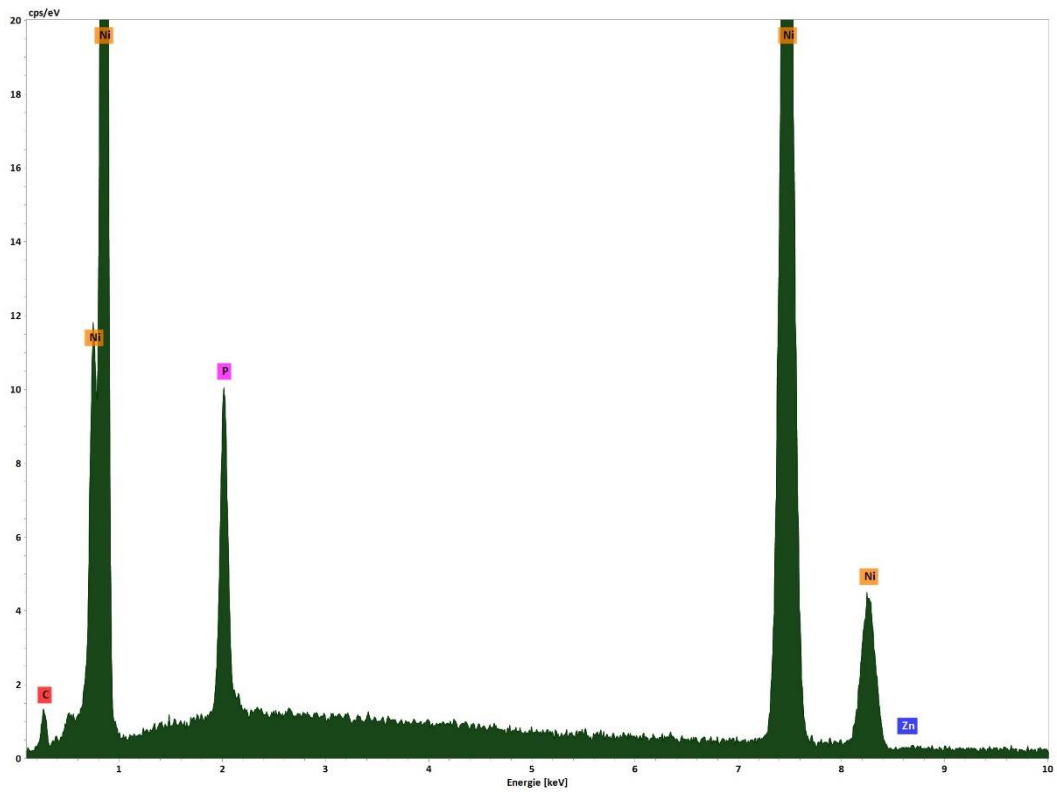


Abbildung 27: EDX-Messwerte fehlerfreier Bereich (Probe 2 iO)

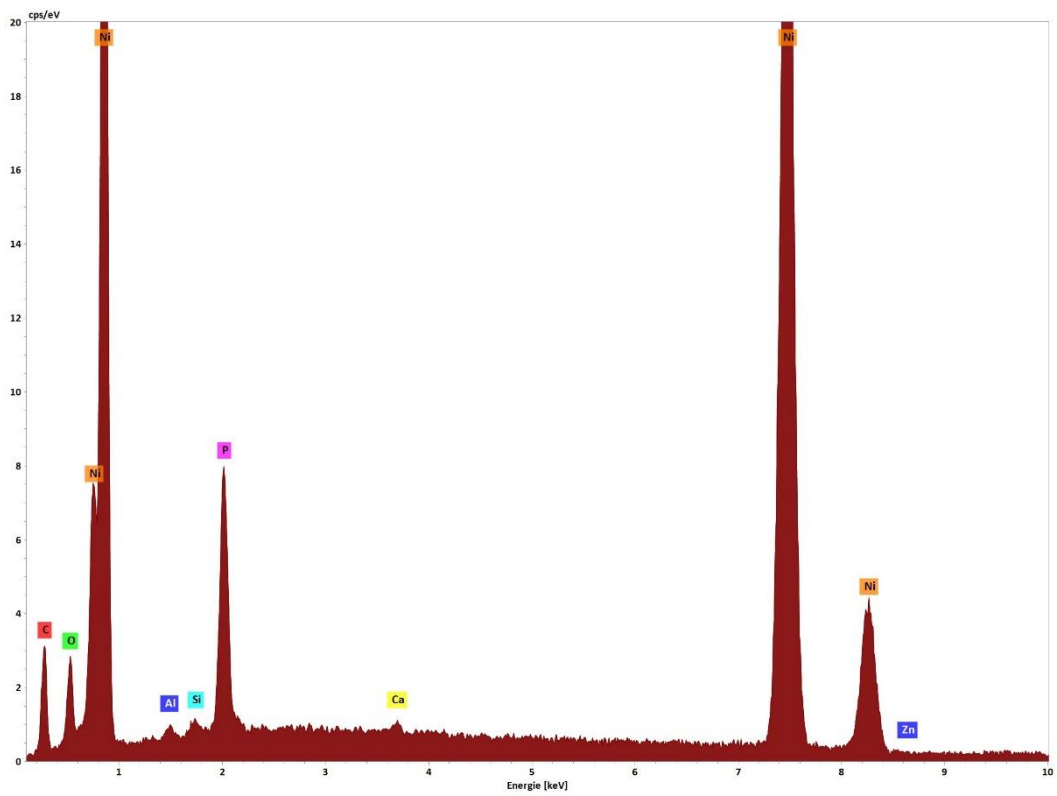


Abbildung 28: EDX-Messwerte weißer Fleck (Probe 2niO)

Spektrum	C	O	Al	Si	P	Ca	Ni
Probe 2 niO	16,41	3,80	0,28	0,19	5,21	0,20	73,91
Probe 2 iO	6,08	-	-	-	5,72	-	88,20

Tabelle 6: EDX-Werte in Masseprozent

Tabelle 6 erfasst alle Werte der relevanten gemessenen Elemente für beide Messpunkte in Masseprozent.

In Abbildung 27 sind die Messwerte des fehlerfreien Bereichs in einem Diagramm dargestellt. Das Messprinzip ist das gleiche wie bei der RFA (siehe 4.2 „Röntgenfluoreszenzanalyse“). Ähnlich der RFA wird auf der x-Achse die elementspezifische Energie aufgelistet. Die y-Achse stellt den Zählwert in cps (counts per second), also Zählungen pro Sekunde, dar. Je größer der Anteil des jeweiligen Elements, desto höher der dargestellte Peak.

Die höchsten Peaks können der Chemisch-Nickel-Schicht zugeordnet werden. Da es sich dabei genauer gesagt um eine Nickel-Phosphor-Schicht handelt, ist der Peak sowohl bei Nickel als auch bei Phosphor sehr groß. Zur Verdeutlichung wurde blau markiert, an welcher Stelle ein Peak für Zink sein müsste, wenn dieses in Größenordnung messbar wäre. Allerdings ist bei beiden Messpunkten kein erhöhter Zinkanteil nachweisbar. Lediglich auffällig ist ein erhöhter Peak des Kohlenstoffs. Dies deutet darauf hin, dass organische Verbindungen vorliegen. Die EDX kann jedoch nur Elemente bis zur Ordnungszahl 6 erfassen. Somit kann nicht bestimmt werden, welche organischen Verbindungen vorliegen könnten.

In Abbildung 28 sind die Messwerte aus dem weißen Fleck dargestellt. Auch hier sind die höchsten Peaks bei Nickel und Phosphor aus denselben Gründen zu verorten. Ebenfalls konnte kein Zink in entsprechender Menge nachgewiesen werden, wie es zu erwarten gewesen wäre, wenn eine Zinkkorrosion vorgelegen hätte. Allerdings ist der Peak des Kohlenstoffs wesentlich höher. Auch ist vermehrt Sauerstoff erfasst worden. Somit liegen ebenso größere Mengen organischer Verbindungen vor. Dies könnten zum Beispiel Fette und Öle sein oder auch Reste des Kühlschmiermittels. Jedoch wäre dann keine vollständige Beschichtung an kontaminierten Stellen möglich, wodurch diese als Ursache auszuschließen sind. Dennoch ist es möglich, dass es sich dabei um Reste der Entfettungschemie handelt. Dies ist ein Indiz für eine Ursache in der Entfettung der Aluminiumbauteile. Weitere markante Messwerte liegen bei Aluminium, Silizium und Calcium. Ein erhöhter Calciumwert in Verbindung mit Sauerstoff und Kohlenstoff

kann auf Kalkablagerungen (Calciumcarbonat CaCO_3) hinweisen. Jedoch konnte in den Messpunkten die Nickel-Phosphor-Schicht abgeschieden werden. Dies wäre bei Kalkablagerungen nicht möglich. Die Messung von Aluminium deutet darauf hin, dass sich die Nickel-Phosphor-Schicht nicht vollständig auf der Oberfläche abgeschieden haben könnte und Teile des Aluminiumsubstrates unbeschichtet sind. In Kombination mit den erhöhten Sauerstoffwerten kann es aber auch auf das Vorliegen von Aluminiumoxid hindeuten. Aluminiumoxid wäre dabei wahrscheinlicher, da Aluminium bei Kontakt mit Sauerstoff Aluminiumoxid Al_2O_3 bildet. Falls das Aluminiumoxid durch die Vorbehandlung nicht entfernt werden konnte, so ist die Beschichtung mit Nickel-Phosphor lokal nicht möglich. Reines Aluminium wäre vermutlich nicht anzutreffen. Dass es sich bei den Flecken um freigelegte Wasserstoffporen aus der Schmelze handelt, kann nicht widerlegt werden, da Wasserstoff mit der Ordnungszahl 1 durch das Messgerät nicht erfasst werden kann. Silizium ist ein Legierungselement der verwendeten Aluminiumlegierung. Somit wäre auch eine lokale Anhäufung an Silizium durch unzureichende Vermischung möglich.

Zur näheren Untersuchung der chemischen Zusammensetzung der weißen Flecke kann ebenfalls eine Untersuchung mittels Glimmentladungsspektroskopie (GDEOS) erfolgen. Eine Messung der Probe durch Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX) wurde hier bereits durchgeführt und kann damit für die Eingrenzung der vorliegenden chemischen Elemente verwendet werden.

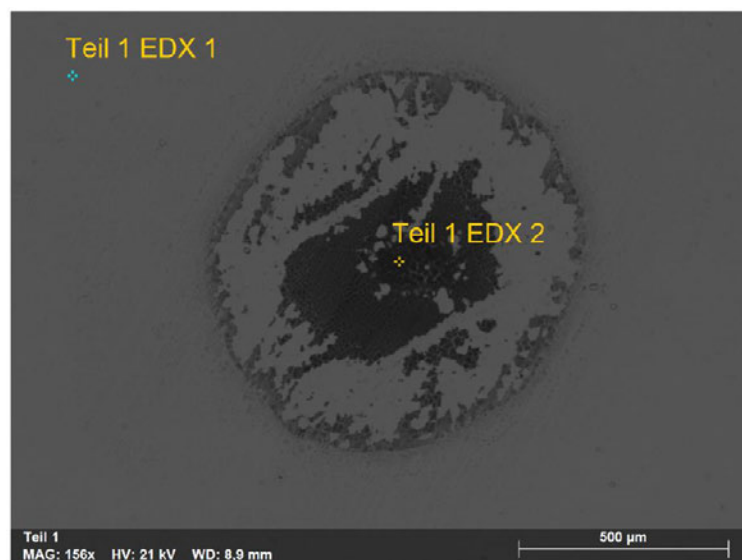


Abbildung 29: REM braune Flecken

In Abbildung 29 ist einer der braunen Flecken unter dem Rasterelektronenmikroskop dargestellt. Zu sehen sind auch die Messpunkte für die EDX-Analyse. Teil 1 EDX 1 zeigt den Referenzpunkt im fehlerfreien Bereich. Teil1 EDX 2 zeigt den Messpunkt im braunen Fleck. Die Messwerte sind nachfolgend dargestellt.

Teil1 EDX 1

Element	Ordnungszahl	Netto	Masse [%]	Masse Norm. [%]
C	6	669	6,16	6,53
P	15	12186	6,26	6,64
Ni	28	71968	81,91	86,84
		Sum	94,32	100,00

Teil 2 EDX 2

Element	Ordnungszahl	Netto	Masse [%]	Masse Norm. [%]
C	6	3956	18,3	18,88
O	8	22828	31,14	32,12
Al	13	916	0,34	0,35
P	15	37633	9,65	9,96
Ca	20	4254	1,24	1,28
Ni	28	48101	36,27	37,41
		Sum	96,94	100,00

Abbildung 30: EDX-Messwerte braune Flecken

Deutlich zu erkennen sind die höheren Werte an Kohlenstoff (C) und Sauerstoff (O). Sie sind ein Anzeichen für organische Rückstände entweder aus dem Entfettungsbad oder von Einschlüssen in den Lunkern des Grundmaterials. Das Auftreten von Aluminium (Al) kann durch eine Fehlstelle in der Beschichtung erklärt werden. Dadurch kann der Grundwerkstoff miterfasst werden, im Gegensatz zum Referenzpunkt mit geschlossener Chemisch-Nickel-Schicht. Die gemessenen Phosphor- (P) und Nickel- (Ni) Anteile stammen aus der Nickel-Phosphor-Schicht. Calcium (Ca) kann ein Hinweis auf Rückstände einer Spüle oder einem Vorbehandlungsbad mit Stadtwasser sein.

5.4 Röntgendiffraktion (XRD)

Durch die Betrachtung der weißen Flecken unter dem Rasterelektronenmikroskop konnten erhöhte Werte an Aluminium und Sauerstoff festgestellt werden. Da dies unter anderem auf Aluminiumoxid hinweist, wurde für einen exakten Nachweis eine Untersuchung der Oberfläche unter dem Röntgendiffraktometer (XRD) durchgeführt. Jedoch beträgt der Messfleck am XRD 1 cm². Die weißen Flecken sind jedoch weit kleiner als die nötige Messfläche. Somit kann nur qualitativ gemessen werden. Ist Aluminiumoxid in Größenordnung vorhanden, so kann das Röntgendiffraktometer dieses erfassen.

Für die Untersuchung wurde dieselbe Probe verwendet wie bei der Betrachtung unter dem Rasterelektronenmikroskop.

Die XRD-Messung arbeitet unter Verwendung von Röntgenstrahlung. Dabei wird der Zusammenhang der Wellenlänge der Röntgenstrahlung, dem Netzebenenabstand und dem Einstrahlwinkel genutzt. Die Röntgenstrahlung wird in einem bestimmten Winkel eingestrahlt und in der Probe reflektiert. Im gleichen Winkel ist ein Detektor angebracht, der die reflektierte Strahlung erfasst. Durch die Analyse entlang eines bestimmten Winkelbereichs wird ein Diffraktogramm erstellt. Ausschlaggebend dafür ist der erfasste Netzebenenabstand, welcher charakteristisch für die jeweiligen Elemente ist. [37]

Aluminiumsubstrat

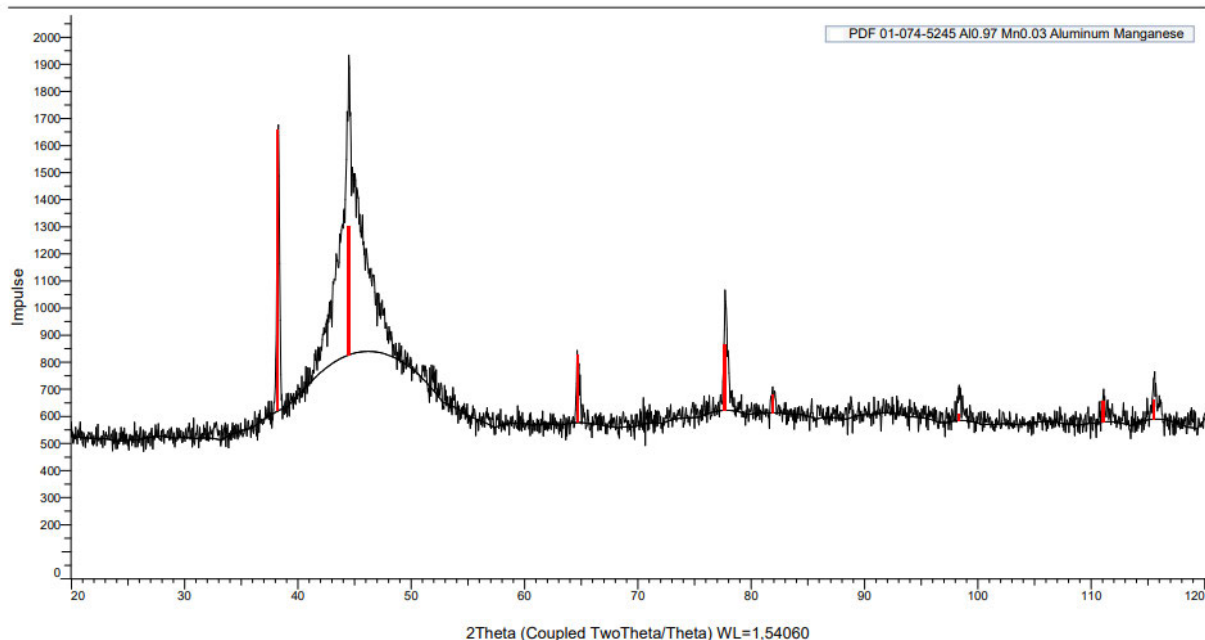


Abbildung 31: XRD-Diffraktogramm Aluminium

Abbildung 31 zeigt das Diffraktogramm des Aluminium-Substrats. Die Lage der charakteristischen Peaks ist hier rot dargestellt. Die x-Achse beschreibt die Lage des Elements. Die y-Achse zeigt die Intensität, also die Anzahl der Messimpulse.

Man erkennt, dass die charakteristischen Peaks exakt nachgewiesen werden konnten. Auffällig ist der breite Peak bei $44^\circ 2\theta$. Durch die XRD können nur kristalline Bestandteile gemessen werden. Die Nickel-Phosphor-Schicht ist jedoch röntgenamorph und kann damit nicht genau

erfasst werden. Sichtbar wird dies im Diffraktogramm des Aluminiumsubstrat und der Nickel-Phosphor-Schicht (Abbildung 32).

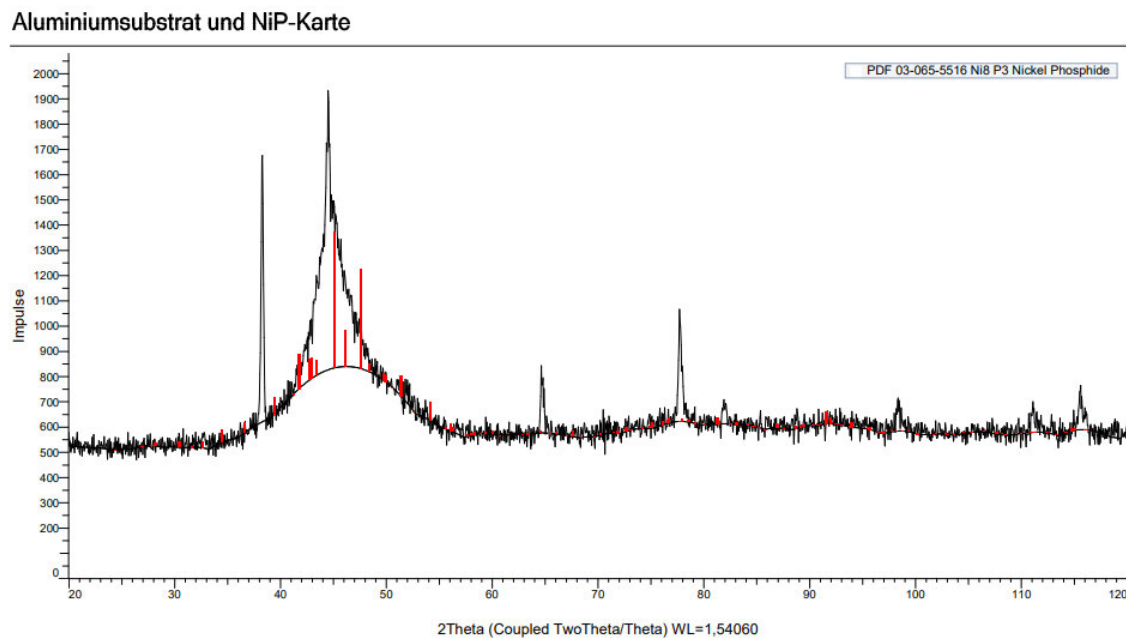


Abbildung 32: XRD-Diffraktogramm Aluminiumsubstrat + NiP

Die charakteristischen Peaks für die Nickel-Phosphor-Schicht liegen hauptsächlich im Bereich des breiten Peaks. Da bekannt ist, dass sich eine Nickel-Phosphor-Schicht auf dem Bauteil befindet, kann spezifisch nach dieser gesucht werden. Ansonsten wäre sie durch die Ausdehnung des Peaks nicht exakt nachweisbar. Alle anderen Peaks verschwinden im Untergrundrauschen.

Aluminium-Oxid

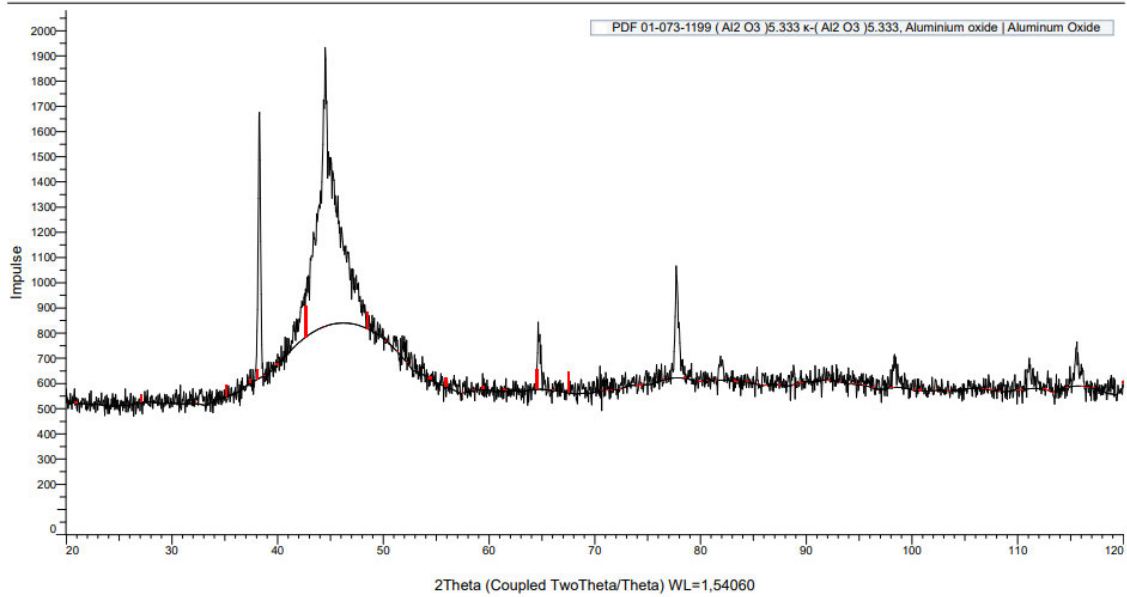


Abbildung 33: XRD-Diffraktogramm Al₂O₃

Bei Betrachtung des Diffraktogramms des Aluminiumoxid (Abbildung 33) wird ersichtlich, dass die charakteristischen Peaks nicht nachgewiesen werden konnten. Die Peaks verschwinden alle im Untergrundrauschen. Es befinden sich somit keine größeren Mengen Aluminiumoxid auf der Bauteiloberfläche. Durch die höhere notwendige Messfläche kann jedoch keine Aussage zu den weißen Flecken getroffen werden. Sie sind mit einer Größe von 100 bis 300 μm zu klein für eine Messung. Dadurch beziehen sich die dargestellten Diffraktogramme nur auf die gesamte Oberfläche des Bauteils.

6. Untersuchungen der Vorbehandlungsbäder

Es wird vermutet, dass es sich um mehrere Ursachen aus unterschiedlichen Bereichen der gesamten Bearbeitungsreihe bis hin zum Fertigprodukt handelt. Daher ist eine Ursache in den Vorbehandlungsbädern nicht auszuschließen. Wie in Punkt 2.2 „Aufgabenstellung und Motivation“ angesprochen, ist es schwierig, das Fehlereintritt absichtlich herbeizuführen. Jedoch wurde die Erfahrung gemacht, dass vor allem Aluminiumlegierungen mit erhöhtem Kupferanteil besonders problembehaftet sind.

Auf Grundlage der in dieser Projektarbeit gewonnenen Erkenntnisse der durchgeführten Versuche, erfolgte eine Umstellung der chemischen Badzusammensetzung in der

Aluminiumentfettung. Bisher wurde das Entfettungsmittel HAKUPUR 50-559 der Firma Chemische Werke Kluthe GmbH verwendet. Die Nutzung erfolgte im pH-Bereich 8-8,5 für Kupfer- und Aluminiumbauteile. Zugegeben wurde zudem das Netzmittel 231 von der Firma Chemische Werke Kluthe GmbH. Im Austausch wird die Entfettungschemie SurTec 061 der SurTec Deutschland GmbH genutzt. Anwendung findet sie bei einem pH-Wert größer 9,5 für Stahl- und Aluminiumbauteile. Kupferbauteile wurden vollständig aus dem Aluminium-Vorbehandlungsprozess ausgeschlossen. Als Badzusatz wurde das nichtionische Tensid SurTec 089 der Firma SurTec Deutschland GmbH zugegeben. [38] Dieses bewirkte jedoch einen oberflächlichen Angriff an Stahlbauteilen. Daher wurde zu SurTec 415 der Firma SurTec Deutschland GmbH gewechselt. Dabei handelt es sich um ein Gemisch aus nichtionischen und anionischen Tensiden. [39] Nach der Umstellung des Tensids und des Entfettungsmittels traten keine weiteren der genannten Probleme auf. Das legt nahe, dass eine Ursache vorrangig im Bad der Aluminiumentfettung zu untersuchen ist. Die Aluminiumentfettung HAKUPUR 50-559 wird noch an der Handanlage der CMF Oberflächenbeschichtung GmbH verwendet. Aus diesem Grund wurden zwei Probebauteile aus EN AW 5083 jeweils in der alten und neuen Aluminiumentfettung für 15 Minuten behandelt. Der Zustand der Oberfläche nach der Entfettung ist folgend dargestellt. Im oberen Bild zu sehen ist die in SurTec 061 behandelte Oberfläche. Es sind keine Angriffe der Bauteiloberfläche, sondern lediglich Frässpuren und Kratzer zu erkennen. Das Oberflächenbild kann damit als optimales Entfettungsergebnis angesehen werden. Im unteren Bild dargestellt ist die Bauteiloberfläche nach der Entfettung mit HAKUPUR 50-559. Deutlich sichtbar sind die zahlreichen hellen Punkte, die sich als Oberflächenangriffe erkennen lassen.

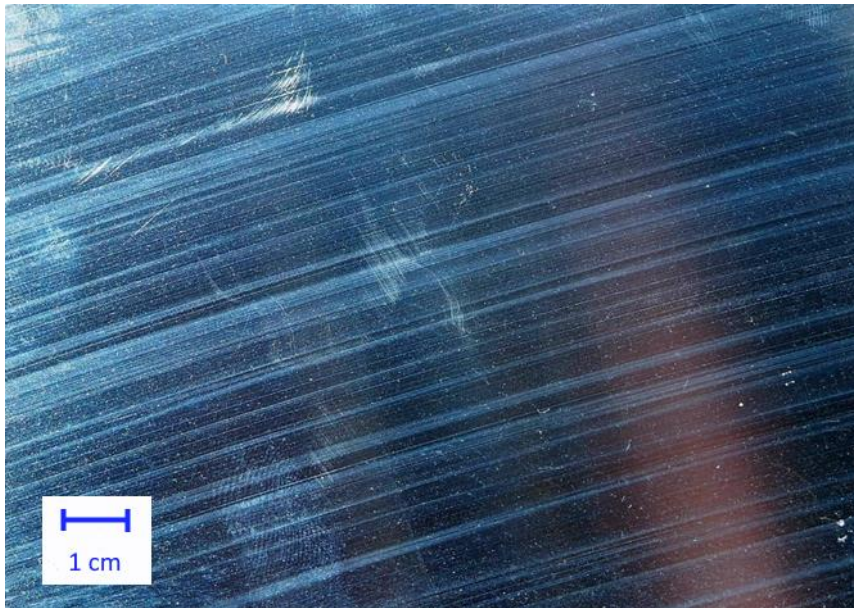


Abbildung 34: Entfettung SurTec 061

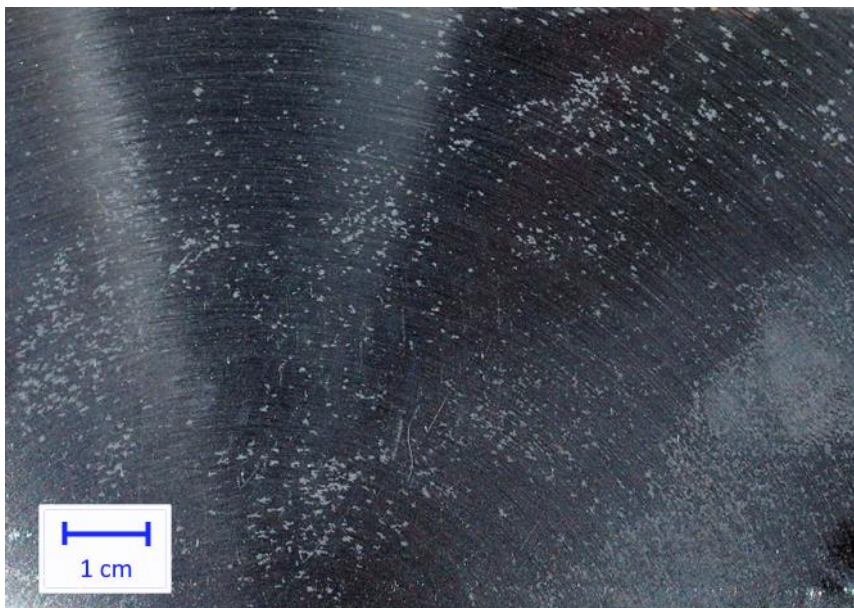


Abbildung 35: Entfettung HAKUPUR 50-559

Der direkte Vergleich der beiden Entfettungsbäder erfolgte mit identischer Aluminiumlegierung. Damit kann eindeutig festgestellt werden, dass die verwendete Entfettung einen entscheidenden Einfluss auf die Ausbildung der bekannten Fehlerbilder hat. Die Anfressungen der Bauteiloberfläche können zudem die Ursache für die Ausbildung des Fehlerbildes mit den weißen Flecken sein. Dafür spricht unter anderem die Ausbildung des Fehlerbildes in das Grundmaterial hinein, wie in Punkt 5.3 „Rasterelektronenmikroskopie

(REM)/Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX)“ zu sehen. Des Weiteren ähneln sich die Flecken aus Abbildung 35 und 2 in Anordnung, Größe und Farbgebung.

Da nach der Umstellung des verwendeten Entfettungsmittels keine Probleme mit der Aluminiumlegierung mehr aufgetreten sind, konnte die Ursache in der Entfettung erfolgreich behoben werden.

Bei der Vorbehandlung der Aluminiumbauteile kam es in der Klärung zu einer dunklen Verfärbung der Bauteile. Diese Verfärbungen könnten unter Umständen eine Ursache für die Ausbildung der braunen Flecke auf der Bauteiloberfläche sein. Falls die Verfärbung durch die nachfolgenden Prozesse nicht entfernt werden kann, könnte dies dazu führen, dass die Nickel-Phosphor-Schicht lokal nicht abgeschieden werden kann. Daraufhin wurde die Konzentration der Klärung von 750 ml/l auf 650 ml/l 38 %iger Salpetersäure gesenkt. Im Anschluss behandelte Aluminiumbauteile wiesen keine weiteren Verfärbungen mehr auf.

7. Fazit

Die Untersuchungen des Kühlschmiermittels haben gezeigt, dass es keine direkte Reaktion des Kühlschmiermittels mit der Bauteiloberfläche gibt. Allerdings sollte aufgrund der enthaltenen korrosiven Stoffe und der Bakterienbelastung eine Desinfizierung der Fräsmaschine sowie ein Austausch des Kühlschmiermittels erfolgen. Auch dem erhöhten Eisenanteil ist kein Einfluss auf die entstandenen Fehlerbilder nachzuweisen. Dennoch sollte eine Möglichkeit zur Filtrierung der Restspäne geschaffen werden.

Die Untersuchung des Bauteils mittels RFA hat gezeigt, dass die Grenzwerte der chemischen Zusammensetzung des Materials eingehalten wurden. Der Zinkanteil ist entgegen den Erwartungen gering, sodass es sich bei dem Fehlerbild der weißen Flecken um keine Kontaktkorrosion zwischen Edelstahl und Zink handeln kann. Das Zink hätte dafür in markanter Größenordnung vorliegen müssen.

Die Metallografie und das angefertigte Schlibfbild haben gezeigt, dass es sich bei den braunen Flecken um eine harte, spröde, nichtmetallische Schicht handelt. Diese befindet sich auf der Chemisch-Nickel-Beschichtung. Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Chemisch-Nickel-Schicht nicht an anderer Stelle durchbrochen wurde. Man kann nicht

sicherstellen, dass der Schliff exakt im Mittelpunkt eines Flecks angefertigt wurde. Dennoch konnte das Schliffbild die Erkenntnis liefern, dass sich unter den braunen Flecken Lunker und andere Einschlüsse befinden, die im gesamten Grundwerkstoff verteilt vorliegen. Dadurch konnten eingeschlossene Gase und Flüssigkeiten als Ursache für die Fehlerausbildung der braunen Flecken bestimmt werden. Auf Grundlage der Ergebnisse wird empfohlen den Materiallieferanten zu ändern oder zumindest die Materialqualität zu verbessern.

Die Betrachtung der Fehlerbilder unter dem Rasterelektronenmikroskop und der Messung mittels Energiedispersiver Röntgenspektroskopie brachten Aufschluss, dass es sich bei den weißen Flecken um Vertiefungen in der Bauteiloberfläche handelt. Da auch hierbei kein Zink nachweisbar war, konnte eine Kontaktkorrosion des Zink endgültig ausgeschlossen werden. Der gemessene erhöhte Kohlenstoff- und Sauerstoffanteil brachte jedoch einen entscheidenden Hinweis auf eine Ursache in der Entfettung der Aluminiumbauteile. Auch die Möglichkeit der Ausbildung der braunen Flecken aufgrund von Einschlüssen in den Lunkern wurde durch die Messwerte bestärkt. Als mögliche Ursache für die weißen Flecken kam durch die EDX-Messung Aluminiumoxid hinzu.

Die Untersuchung der Bauteiloberfläche mittels Röntgendiffraktion widerlegte schließlich die These des Aluminiumoxids als Ursache der weißen Flecken. Allerdings ist der Messfleck bei der XRD-Messung wesentlich größer als die weißen Flecken. Somit konnte keine genaue Messung der betroffenen Bereiche erfolgen. Dennoch hätte bei der quantitativen Messung der Aluminiumoxidanteil höher sein müssen, wenn dieses in entsprechender Menge vorliegen würde.

Der Verdacht einer möglichen Ursache der weißen Flecke in der Entfettung der Aluminiumvorbehandlung konnte sich durch einen direkten Vergleich der Entfettungsmittel HAKUPUR 50-559 und SurTec 061 bestätigen. Die Tatsache eines ausbleibenden Fehlerauftritts nach der Umstellung des Badinhaltes bestätigt den Verdacht.

Somit kann als Ursache für das Fehlerbild der weißen Flecke die Entfettung mit HAKUPUR 50-559 festgelegt werden. Als Ursachen für das Fehlerbild gibt es keine exakte Aussage. Am wahrscheinlichsten ist jedoch ein Austritt eingeschlossener Gase und Flüssigkeiten aus den im Grundmaterial befindlichen Lunkern. Die genaue Zusammensetzung konnte im Rahmen dieser Projektarbeit nicht ermittelt werden. Als Ausblick dafür kann dennoch eine Messung mittels

GDEOS empfohlen werden. Auch der Einfluss der Vorbehandlung auf das Ausbilden der braunen Flecken konnte nicht klar bestimmt werden.

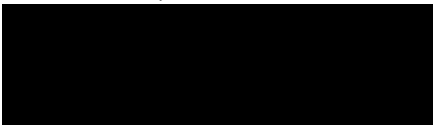
8. Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, den 26.08.2024

A black rectangular box redacting the signature of the author.

Niklas-Bernard Brames

9. Quellenverzeichnis

9.1 Literatur- und Internetquellen

- [1] H. Hofmann und J. Spindler, Verfahren in der Beschichtungs- und Oberflächentechnik, 4., aktualisierte Auflage Hrsg., München: Carl Hanser Verlag, 2020, p. 12f..
- [2] CMF Oberflächenbeschichtung GmbH, „FB 8 5 1 Prozessdokumentation,“ Intranet CMF Oberflächenbeschichtung GmbH, Lichtenau, 2022.
- [3] Schmitz Metallographie GmbH, „EN AW-5083 | AlMg4,5Mn0,7,“ [Online]. Available: <https://www.schmitz-metallographie.de/gefuge/en-aw-5083-almg45mn07/>. [Zugriff am 15 Juni 2024].
- [4] Aluminium -Service GmbH, „Welche Aluminiumlegierungen gibt es?,“ [Online]. Available: <https://www.aluservice.de/ratgeber/aluminium/welche-aluminiumlegierungen-gibt-es/>. [Zugriff am 15 Juni 2024].
- [5] DIN e.V. (Hrsg.), DIN EN 573-3:2022-09: Aluminium und Aluminiumlegierungen- Chemische Zusammensetzung und Form von Halbzeug- Teil 3: Chemische Zusammensetzung und Erzeugnisformen, Berlin: DIN Media GmbH (Beuth-Verlag), 2022.
- [6] T. W. Jelinek, Praktische Galvanotechnik, 7. Auflage Hrsg., Bad Saulgau: Leuze Verlag, 2020, pp. 140-202.
- [7] W. Dr. Riedel, Funktionelle Chemische Vernicklung, Saulgau: Leuze Verlag, 1989, pp. 180-184.
- [8] W. Pfeil, Das große Tafelwerk interaktiv, 1. Auflage Hrsg., Berlin: Cornelsen Verlag, 2014, p. 140.
- [9] hebro chemie, „Technische Information hebro lan U 93-114,“ Mönchengladbach, 2022.
- [10] CMF Oberflächenbeschichtung GmbH, „Intranet,“ [Online]. [Zugriff am 27 Oktober 2022].

- [11] H. Hoffmann und J. Spindler, Verfahren in der Beschichtungs- und Oberflächentechnik, 4., aktualisierte Auflage Hrsg., München: Carl Hanser Verlag, 2020, p. 94 f..
- [12] KSG GmbH, „Lötoberflächen für Leiterplatten, Teil 2: Chemisch Nickel-Gold,“ [Online]. Available: <https://pcb-blog.com/loetoberflaechen-chemisch-nickel-gold/>. [Zugriff am 11 August 2024].
- [13] Holzapfel Metallveredelung GmbH, „Chemisch Nickel,“ [Online]. Available: <https://holzapfel-group.com/oberflaechenverfahren/funktionelle-beschichtungen/chemisch-nickel/>. [Zugriff am 01 Juni 2024].
- [14] CMF Oberflächenbeschichtung GmbH, „Sonderverfahren,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.cmf-group.de/produkte/sonderverfahren/>. [Zugriff am 14 Dezember 2023].
- [15] CMF Oberflächenbeschichtung GmbH, „Produkte,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.cmf-group.de/produkte/produktportfolio/>. [Zugriff am 14 Dezember 2023].
- [16] Alcobra GmbH, „Korrosion auf Aluminiumoberflächen,“ [Online]. Available: <https://www.german.alcobra.de/kenntnisse-und-technik/allgemein/korrosion-auf-aluminiumoberflaechen/>. [Zugriff am 09 Juni 2024].
- [17] Spectro Analytical Instruments GmbH, „RFA-Spektrometer,“ [Online]. Available: https://www.spectro.de//media/ametekspectro/documents/whitepaper/WP-XRF-fundamentals_de.pdf. [Zugriff am 19 Januar 2024].
- [18] DIN e.V. (Hrsg.), DIN 51418-1:2008-08: Röntgenspektralanalyse – Röntgenemissions- und Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) - Teil 1: Allgemeine Begriffe und Grundlagen, Berlin: DIN Media GmbH (Beuth Verlag), 2008.
- [19] D. Dr. Berger, „Zentraleinrichtung Elektronenmikroskopie (ZELMI),“ 16 Dezember 2013. [Online]. Available: https://www.static.tu.berlin/fileadmin/www/10002042/MAP_Skripte/MAPI-WiSe2022_23/A5-EDX_2013_12_16.pdf. [Zugriff am 19 Januar 2024].

- [20] Baumann Mineralölvertrieb, „Kühlschmierstoffe,“ [Online]. Available: <https://www.baumann-oil.de/documents/k%C3%BChlschmierstoffe%20fibel3.pdf>. [Zugriff am 19 Januar 2024].
- [21] R. Gomeringer, R. Kilgus, V. Menges, S. Oesterle, T. Rapp, C. Scholer, A. Stenzel, A. Stephan und F. Wienke, Tabellenbuch Metall, 49. Auflage Hrsg., Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel, 2022, pp. 315, 341.
- [22] Merck KGaA, „MQuant Chlor-Test,“ Merck KGaA, Darmstadt, 2019.
- [23] A. M. Gressner und O. M. Gressner, Lexikon der Medizinischen Laboratoriumsdiagnostik, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2019.
- [24] MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG, „Quantofix Nitrat/Nitrit,“ MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG, Düren, 2016.
- [25] Hach Lange GmbH, „Nitrat & Nitrit - Wasserqualitätsparameter,“ [Online]. Available: <https://de.hach.com/parameters/nitrate>. [Zugriff am 30 Januar 2024].
- [26] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), „Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung,“ [Online]. Available: <https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/kuehlschmierstoffe/lexikon/nitritgehalt/index.jsp>. [Zugriff am 30 Januar 2024].
- [27] aqua-Technik Beratungs GmbH, „Korrosion durch Chlor und Chlorid in Kühltürmen,“ [Online]. Available: <https://aqua-technik-gmbh.de/korrosion-durch-chlor-und-chlorid-in-kuehltuermen/>. [Zugriff am 30 Januar 2024].
- [28] Dipl.-Ing. Dahms, „Labor-Protokoll Kühlschmiermittel hebro lub 756 EP,“ hebro chemie, Mönchengladbach, 2023.
- [29] H. Döbert, „Anwendungsbezogene Werkstoffberatung,“ [Online]. Available: <https://www.korros.de/Korrosion/Biokorrosion/>. [Zugriff am 31 Januar 2024].
- [30] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), „Prüfung wassergemischter Kühlschmierstoffe,“ [Online]. Available:

<https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/kuehlschmierstoffe/schutzmassnahmen/pruefung-wassergemischter-kuehlschmierstoffe/index.jsp>. [Zugriff am 31 Januar 2024].

- [31] DIN e.V. (Hrsg.), DIN 51418-2:2015-03; Röntgenspektralanalyse – Röntgenemissions- und Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) – Teil 2: Begriffe und Grundlagen zur Messung, Kalibrierung und Auswertung, Berlin: DIN Media GmbH (Beuth Verlag), 2015.
- [32] A. Dipl.-Ing. Eysert, „Prüfbericht Metallographie,“ Hochschule Mittweida, Mittweida, 2023.
- [33] L. (. e. H. v. A. Dipl.-Ing. Müller, Interviewee, *Gießprozess Aluminiumlegierungen*. [Interview]. 27 Januar 2024.
- [34] W. Pfeil, Das große Tafelwerk interaktiv, 1. Auflage Hrsg., Berlin: Cornelsen Verlag, 2014, pp. 132-134.
- [35] Vesuvius, „Schmelzebehandlungsprodukte für Aluminium, Kupfer, Magnesium und Zinklegierungen,“ [Online]. Available: <https://www.vesuvius.com/en/our-solutions/de-de/foundry/non-ferrous-foundry/melt-treatment.html>. [Zugriff am 03 Februar 2024].
- [36] Gießereilexikon, „Wasserstofflöslichkeit,“ [Online]. Available: <https://www.giessereilexikon.com/giessereilexikon/Encyclopedia/show/wasserstoffloeslichkeit-725/?cHash=3fb33cdb55421809434093391179007b>. [Zugriff am 06 Juli 2024].
- [37] SGS Institut Fresenius GmbH, „Röntgendiffraktometrie (XRD),“ [Online]. Available: <https://sgs-institut-fresenius.de/materialpruefung-fehleranalytik/methoden-und-verfahren/materialanalytik/roentgendiffraktometrie-xrd>. [Zugriff am 04 Februar 2024].
- [38] SurTec Deutschland GmbH, „Sicherheitsdatenblatt SurTec 089,“ Zwingenberg, 2021.
- [39] SurTec Deutschland GmbH, „Sicherheitsdatenblatt SurTec 415,“ Zwingenberg, 2021.
- [40] CMF Oberflächenbeschichtung GmbH, „Chemisch Nickel - vernickeln ohne Strom,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.cmf-group.de/produkte/chemisch-nickel-vernicken-ohne-strom/>. [Zugriff am 14 Dezember 2023].

9.2 Abbildungsquellen

[1] eigene Darstellung

[2] eigene Darstellung

[3] siehe Literatur- und Internetquellen [5]

[4] siehe Literatur- und Internetquellen [12]

[5] eigene Darstellung

[6] eigene Darstellung

[7] eigene Darstellung

[8] eigene Darstellung

[9] eigene Darstellung

[10] eigene Darstellung

[11] eigene Darstellung

[12] eigene Darstellung

[13] eigene Darstellung

[14] siehe Literatur- und Internetquellen [25]

[15] siehe Literatur- und Internetquellen [5]

[16] siehe Literatur- und Internetquellen [29]

[17] siehe Literatur- und Internetquellen [29]

[18] siehe Literatur- und Internetquellen [29]

[19] siehe Literatur- und Internetquellen [29]

[20] siehe Literatur- und Internetquellen [29]

[21] siehe Literatur- und Internetquellen [29]

[22] siehe Literatur- und Internetquellen [29]

[23] eigene Darstellung

[24] eigene Darstellung

[25] eigene Darstellung

[26] eigene Darstellung

[27] eigene Darstellung

[28] eigene Darstellung

[29] eigene Darstellung

[30] eigene Darstellung

[31] eigene Darstellung

[32] eigene Darstellung

[33] eigene Darstellung

[34] eigene Darstellung

[35] eigene Darstellung

10. Anhang

Anhang 1: Datenblatt hebro lan U 93-114

A055
540016000
01/2022



Technische Information

hebro[®]lan U 93-114

Wassermischbarer, umweltfreundlicher, salzärmer Reiniger

Charakteristischer Aufbau

Lauge	Phosphat	Silikat	Borat	Amin	Tensid
-	-	-	-	X	X

hebro[®]lan U 93-114 ist ein neutraler Reiniger und für Einsatz in Tauchentfettungsanlagen geeignet. Er kann zur Reinigung von unterschiedlichsten Materialien wie beispielsweise Stahl, Aluminium, Messing oder Glas eingesetzt werden.

Eigenschaften

- Kann zur Reinigung von Ölen, Fetten, Kühlschmierstoffrückständen, Schleifpasten und Umweltschmutz eingesetzt werden.
- Besonders geeignet für den Einsatz auf Buntmetallen und um die Anforderungen an die Oberflächenreinheit für Aluminiumbauteile in der EUV Lithografie zu erreichen.

Technische Daten (typische Werte)

Farbe	Geruch	pH-Wert 1%ig	Schüttdichte bei 20°C	nD25
gelb	mild	8,7	1,05 g/cm ³	1,3595.

Badkontrolle

Badvolumen	Indikator	Titratoren	Faktor	Berechnung
50 ml	Prüfindikator 3	Prüflösung 45	1,7	ml Titratoren x Faktor = Vol%

Badführung

- Konzentration: 2-5%
- Temperatur: bis 70°C
- Durchlaufzeit: 1-5 Minuten

Information

Die maximale Haltbarkeit im Original verschlossenen Gebinde beträgt 12 Monate ab Produktionsdatum. Das Produkt ist zwischen 5-40°C frostfrei zu lagern. Restentleerte Gebinde können über unser Interseroh System entsorgt werden. Anlagenwertstoff: Baustähle nach DIN EN 10025; Werkstoffnr. 1.4301

Die in diesem Datenblatt gemachten Angaben basieren auf den uns bekannten Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten. Generell kann jedoch aus diesen Daten keine Rechtsverbindlichkeit abgeleitet werden. Wir behalten uns Änderungen an dem Produkt vor, wenn diese durch Gesetzgebung oder Rohstoffwegfall notwendig sind.

Sicherheitsdatenblatt gemäß 1907/2006/EG, Artikel 31

Druckdatum: 01.11.2023

überarbeitet am: 01.11.2023

Versionsnummer 4.001 (ersetzt Version 4.000)

Handelsname: SurTec 061

(Fortsetzung von Seite 1)

- **2.3 Sonstige Gefahren**
- **Ergebnisse der PBT- und vPvB-Beurteilung**
- **PBT:** Nicht anwendbar.
- **vPvB:** Nicht anwendbar.

ABSCHNITT 3: Zusammensetzung/Angaben zu Bestandteilen

- **3.2 Gemische**
 - **Beschreibung:** Gemisch aus nachfolgend angeführten Stoffen mit ungefährlichen Beimengungen.
 - **Gefährliche Inhaltsstoffe:**
- | | | |
|--|--|---------|
| CAS: 12045-78-2
EINECS: 215-575-5 | Kaliumtetraborat-4-hydrat
Repr. 2, H361d
Spezifische Konzentrationsgrenze:
Repr. 2; H361: C ≥ 6,8 % | 10-<20% |
| CAS: 7320-34-5
EINECS: 230-785-7
Reg.nr.: 01-2119489369-18-XXXX | Tetrakaliumdiphosphat
Eye Irrit. 2, H319 | 3-7% |
| CAS: 1310-58-3
EINECS: 215-181-3
Indexnummer: 019-002-00-8
Reg.nr.: 01-2119487136-33-XXXX | Kaliumhydroxid
Met. Corr.1, H290; Skin Corr. 1A, H314; Eye Dam. 1, H318; Acute Tox. 4, H302
Spezifische Konzentrationsgrenzen:
Skin Corr. 1A; H314: C ≥ 5 %
Skin Corr. 1B; H314: 2 % ≤ C < 5 %
Skin Irrit. 2; H315: 0,5 % ≤ C < 2 %
Eye Dam. 1; H318: C ≥ 2 %
Eye Irrit. 2; H319: 0,5 % ≤ C < 2 % | 1-<3% |
- **Verordnung (EG) Nr. 648/2004 über Detergenzien / Kennzeichnung der Inhaltsstoffe**
 - Phosphate ≥5 - <15%
 - **Zusätzliche Hinweise:**
Der Wortlaut der angeführten Gefahrenhinweise ist dem Abschnitt 16 zu entnehmen.

ABSCHNITT 4: Erste-Hilfe-Maßnahmen

- **4.1 Beschreibung der Erste-Hilfe-Maßnahmen**
- **Allgemeine Hinweise:** Mit Produkt verunreinigte Kleidungsstücke unverzüglich entfernen.
- **Nach Einatmen:**
Frischlufzufuhr, gegebenenfalls Atemspende, Wärme. Bei anhaltenden Beschwerden Arzt konsultieren.
Bei Bewusstlosigkeit Lagerung und Transport in stabiler Seitenlage.
- **Nach Hautkontakt:**
Sofort mit Wasser und Seife abwaschen und gut nachspülen.
Bei andauernder Hautreizung Arzt aufsuchen.
- **Nach Augenkontakt:**
Augen bei geöffnetem Lidspalt mehrere Minuten unter fließendem Wasser abspülen und Arzt konsultieren.
- **Nach Verschlucken:**
Mund ausspülen und reichlich Wasser nachtrinken.
Kein Erbrechen herbeiführen, sofort Arzthilfe zuziehen.
Eine erbrechende, auf dem Rücken liegende Person auf die Seite wenden.
- **Hinweise für den Arzt:**
Symptomatische Behandlung (Dekontamination, Vitalfunktionen), kein spezifisches Antidot bekannt.
- **4.2 Wichtigste akute und verzögert auftretende Symptome und Wirkungen**
Keine weiteren relevanten Informationen verfügbar.
- **4.3 Hinweise auf ärztliche Soforthilfe oder Spezialbehandlung**
Keine weiteren relevanten Informationen verfügbar.

(Fortsetzung auf Seite 3)

DE

Anhang 3: Auszug Sicherheitsdatenblatt SurTec 415

Seite: 2/9

Sicherheitsdatenblatt gemäß 1907/2006/EG, Artikel 31

Druckdatum: 14.10.2021

Versionsnummer 4.000 (ersetzt Version 3.000)

überarbeitet am: 14.10.2021

Handelsname: SurTec 415

(Fortsetzung von Seite 1)

ABSCHNITT 3: Zusammensetzung/Angaben zu Bestandteilen

3.2 Gemische

• **Beschreibung:** Gemisch aus nachfolgend angeführten Stoffen mit ungefährlichen Beimengungen.

• Gefährliche Inhaltsstoffe:

CAS: 68515-73-1	n-Alkyl(C8-C10)polyglycosid	3-7%
NLP: 500-220-1	Eye Dam. 1, H318	
Reg.nr.: 01-2119488530-36-XXXX		

• Verordnung (EG) Nr. 648/2004 über Detergenzien / Kennzeichnung der Inhaltsstoffe

nichtionische Tenside, anionische Tenside	<5%
---	-----

• Zusätzliche Hinweise:

Der Wortlaut der angeführten Gefahrenhinweise ist dem Abschnitt 16 zu entnehmen.

ABSCHNITT 4: Erste-Hilfe-Maßnahmen

4.1 Beschreibung der Erste-Hilfe-Maßnahmen

• **Allgemeine Hinweise:** Mit Produkt verunreinigte Kleidungsstücke unverzüglich entfernen.

• **Nach Einatmen:** Frischluftzufuhr, bei Beschwerden Arzt aufsuchen.

• Nach Hautkontakt:

Im Allgemeinen ist das Produkt nicht hautreizend.

Mit warmem Wasser abspülen.

• Nach Augenkontakt:

Augen bei geöffnetem Lidspalt mehrere Minuten mit fließendem Wasser spülen.

Unverletztes Auge schützen.

Sofort Arzt hinzuziehen.

• Nach Verschlucken:

Mund ausspülen und reichlich Wasser nachtrinken.

Kein Erbrechen herbeiführen, sofort ärztliche Hilfe zuziehen.

Eine erbrechende, auf dem Rücken liegende Person auf die Seite wenden.

• Hinweise für den Arzt:

Symptomatische Behandlung (Dekontamination, Vitalfunktionen), kein spezifisches Antidot bekannt.

4.2 Wichtigste akute und verzögert auftretende Symptome und Wirkungen

Keine weiteren relevanten Informationen verfügbar.

4.3 Hinweise auf ärztliche Soforthilfe oder Spezialbehandlung

Keine weiteren relevanten Informationen verfügbar.

ABSCHNITT 5: Maßnahmen zur Brandbekämpfung

5.1 Löschmittel

• Geeignete Löschmittel:

Das Produkt ist nicht brennbar.

Feuerlöschmaßnahmen auf die Umgebung abstimmen.

5.2 Besondere vom Stoff oder Gemisch ausgehende Gefahren

Nach Verdampfen des Wassers (z.B. bei Großbränden) können bei weiterem Erhitzen folgende

Stoffe freigesetzt werden:

Kohlendioxid (CO₂)

Kohlenmonoxid sowie möglicherweise giftige Rauch- und Schwelgase in Folge unvollständiger

Verbrennung.

Stickoxide (NO_x)

Schwefeloxide (SO_x)

5.3 Hinweise für die Brandbekämpfung

• Besondere Schutzausrüstung:

Umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät tragen.

Vollschutzanzug tragen.

(Fortsetzung auf Seite 3)

DE

**Sicherheitsdatenblatt
gemäß 1907/2006/EG, Artikel 31**

Druckdatum: 16.08.2021

überarbeitet am: 16.08.2021

Versionsnummer 4.000 (ersetzt Version 3.000)

Handelsname: SurTec 089												
(Fortsetzung von Seite 1)												
<p>ABSCHNITT 3: Zusammensetzung/Angaben zu Bestandteilen</p> <ul style="list-style-type: none"> · 3.2 Gemische · Beschreibung: Gemisch aus nachfolgend angeführten Stoffen mit ungefährlichen Beimengungen. · Gefährliche Inhaltsstoffe: <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">CAS: 26183-52-8 Decan-1-ol, ethoxyliert</td> <td style="text-align: right; vertical-align: top;">25-50%</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Eye Dam. 1, H318; Acute Tox. 4, H302</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CAS: 61791-14-8 Cocosfettaminoxethylat</td> <td style="text-align: right; vertical-align: top;">25-50%</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Polymer Eye Dam. 1, H318; Acute Tox. 4, H302; Aquatic Chronic 3, H412</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CAS: 78330-20-8 Alkohole, C9-11-iso, C10-reich, ethoxyliert</td> <td style="text-align: right; vertical-align: top;">3-7%</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Polymer Eye Dam. 1, H318; Acute Tox. 4, H302</td> <td></td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> · Verordnung (EG) Nr. 648/2004 über Detergenzien / Kennzeichnung der Inhaltsstoffe nichtionische Tenside ≥30% · Zusätzliche Hinweise: Der Wortlaut der angeführten Gefahrenhinweise ist dem Abschnitt 16 zu entnehmen. 	CAS: 26183-52-8 Decan-1-ol, ethoxyliert	25-50%	Eye Dam. 1, H318; Acute Tox. 4, H302		CAS: 61791-14-8 Cocosfettaminoxethylat	25-50%	Polymer Eye Dam. 1, H318; Acute Tox. 4, H302; Aquatic Chronic 3, H412		CAS: 78330-20-8 Alkohole, C9-11-iso, C10-reich, ethoxyliert	3-7%	Polymer Eye Dam. 1, H318; Acute Tox. 4, H302	
CAS: 26183-52-8 Decan-1-ol, ethoxyliert	25-50%											
Eye Dam. 1, H318; Acute Tox. 4, H302												
CAS: 61791-14-8 Cocosfettaminoxethylat	25-50%											
Polymer Eye Dam. 1, H318; Acute Tox. 4, H302; Aquatic Chronic 3, H412												
CAS: 78330-20-8 Alkohole, C9-11-iso, C10-reich, ethoxyliert	3-7%											
Polymer Eye Dam. 1, H318; Acute Tox. 4, H302												
<p>ABSCHNITT 4: Erste-Hilfe-Maßnahmen</p> <ul style="list-style-type: none"> · 4.1 Beschreibung der Erste-Hilfe-Maßnahmen · Allgemeine Hinweise: Mit Produkt verunreinigte Kleidungsstücke unverzüglich entfernen. · Nach Einatmen: Frischlufzufuhr, gegebenenfalls Atemspende, Wärme. Bei anhaltenden Beschwerden Arzt konsultieren. Bei Bewusstlosigkeit Lagerung und Transport in stabiler Seitenlage. · Nach Hautkontakt: Sofort mit Wasser und Seife abwaschen und gut nachspülen. Bei andauernder Hautreizung Arzt aufsuchen. · Nach Augenkontakt: Augen bei geöffnetem Lidspalt mehrere Minuten mit fließendem Wasser spülen. Unverletztes Auge schützen. Sofort Arzt hinzuziehen. · Nach Verschlucken: Reichlich Wasser nachtrinken und Frischluftzufuhr. Unverzüglich Arzt hinzuziehen. Eine erbrechende, auf dem Rücken liegende Person auf die Seite wenden. · 4.2 Wichtigste akute und verzögert auftretende Symptome und Wirkungen Keine weiteren relevanten Informationen verfügbar. · 4.3 Hinweise auf ärztliche Soforthilfe oder Spezialbehandlung Keine weiteren relevanten Informationen verfügbar. 												
<p>ABSCHNITT 5: Maßnahmen zur Brandbekämpfung</p> <ul style="list-style-type: none"> · 5.1 Löschmittel · Geeignete Löschmittel: CO₂, Löschpulver oder Wassersprühstrahl. Größeren Brand mit Wassersprühstrahl oder alkoholbeständigem Schaum bekämpfen. · Aus Sicherheitsgründen ungeeignete Löschmittel: Wasser im Vollstrahl · 5.2 Besondere vom Stoff oder Gemisch ausgehende Gefahren Bei einem Brand kann freigesetzt werden: Stickoxide (NO_x) Kohlenmonoxid sowie möglicherweise giftige Rauch- und Schwelgase in Folge unvollständiger Verbrennung. Kohlendioxid (CO₂) · 5.3 Hinweise für die Brandbekämpfung · Besondere Schutzausrüstung: Explosions- und Brandgase nicht einatmen. Umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät tragen. Vollschutzanzug tragen. 												
(Fortsetzung auf Seite 3)												

Sicherheitsdatenblatt
gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH)



Handelsname : Hakupur 50-559 (000161350559)
Entfettungsmittel
Überarbeitet am : 21.06.2022
Druckdatum : 28.06.2022
Version (Überarbeitung) : 4.1.2 (4.1.1)

ABSCHNITT 1: Bezeichnung des Stoffs bzw. des Gemischs und des Unternehmens

1.1 Produktidentifikator

Hakupur 50-559
Entfettungsmittel

1.2 Relevante identifizierte Verwendungen des Stoffs oder Gemischs und Verwendungen, von denen abgeraten wird

Relevante identifizierte Verwendungen

Verwendungssektoren [SU]
Industrielle Verwendungen

Produktkategorie [PC]
PC 14 - Produkte zur Behandlung von Metalloberflächen

1.3 Einzelheiten zum Lieferanten, der das Sicherheitsdatenblatt bereitstellt

Lieferant : Chemische Werke Kluthe GmbH
Werk Wieblingen
Straße : Mittelgewannweg 4-8
Postleitzahl/Ort : 69123 Heidelberg-Wieblingen
Telefon : +496221/5301-0
Telefax : +496221/5301-176
Ansprechpartner für Informationen : sds.hd@kluthe.com

1.4 Notrufnummer

+49 6221/ 5301-0 (7.30 - 16.00 Uhr)

ABSCHNITT 2: Mögliche Gefahren

2.1 Einstufung des Stoffs oder Gemischs

Einstufung gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 [CLP]

Keine

2.2 Kennzeichnungselemente

Keine

2.3 Sonstige Gefahren

Die Stoffe im Gemisch erfüllen nicht die PBT/vPvB Kriterien gemäß REACH, Anhang XIII.

ABSCHNITT 3: Zusammensetzung/Angaben zu Bestandteilen

KOMPLEXBILDNER, ADDITIVE, WASSER

3.2 Gemische

Gefährliche Inhaltsstoffe

1-HYDROXYETHAN-1,1-DIPHOSPHONSÄURE, K-SALZ ; REACH-Nr. : 01-2119510384-48 ; EG-Nr. : 267-956-0 ; CAS-Nr. : 67953-76-8

Gewichtsanteil : ≥ 10 - < 25 %
Einstufung 1272/2008 [CLP] : Acute Tox. 4 ; H302

Das Gemisch enthält die folgenden besonders besorgniserregenden Stoffe (SVHC), die in der Kandidatenliste gemäß REACH, Artikel 59 enthalten sind

Keine

Das Gemisch enthält die folgenden besonders besorgniserregenden Stoffe (SVHC), die zulassungspflichtig gemäß REACH, Anhang XIV sind

Keine

Zusätzliche Hinweise

Sicherheitsdatenblatt
gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH)



Harmony in
Chemistry

Handelsname : Netzmittel 231 (00033231)
Zusatz für Entfettungsbäder

Überarbeitet am : 08.04.2019
Druckdatum : 08.04.2019

Version (Überarbeitung) : 9.1.1 (9.1.0)

H318 Verursacht schwere Augenschäden.
H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.
H315 Verursacht Hautreizungen.
H410 Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.

Sicherheitshinweise

P273 Freisetzung in die Umwelt vermeiden.
P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
P305+P351+P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
P391 Verschüttete Mengen aufnehmen.
P501 Inhalt/Behälter gemäß den lokalen Vorschriften der Entsorgung zuführen.

Zusätzliche Hinweise

P302+P352 - BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Mit viel Wasser waschen. P362+P364 - Kontaminierte Kleidung ausziehen und vor erneutem Tragen waschen.

2.3 Sonstige Gefahren

Keine

ABSCHNITT 3: Zusammensetzung/Angaben zu Bestandteilen

WASSER, TENSIDE

3.2 Gemische

Gefährliche Inhaltsstoffe

ALKOHOLE, C9-11 ISO, C10 REICH, ETHOXYLIERT (7 EO) ; CAS-Nr. : 78330-20-8

Gewichtsanteil : $\geq 25 - < 50$ %
Einstufung 1272/2008 [CLP] : Eye Dam. 1 ; H318 Acute Tox. 4 ; H302

OLEYLAMINETHOXYLAT ; CAS-Nr. : 26635-93-8

Gewichtsanteil : $\geq 25 - < 50$ %
Einstufung 1272/2008 [CLP] : Eye Dam. 1 ; H318 Acute Tox. 4 ; H302 Skin Irrit. 2 ; H315 Aquatic Acute 1 ; H400 Aquatic Chronic 1 ; H410

POLY(OXY-1,2-ETHANDIYL).ALPHA.-TRIDECYL-.OMEGA.-HDROXY-, VERZWEIGT (ISOTRIDECANOLETHOXYLAT) ; EG-Nr. : 931-138-8; CAS-Nr. : 69011-36-5

Gewichtsanteil : $\geq 10 - < 25$ %
Einstufung 1272/2008 [CLP] : Eye Dam. 1 ; H318 Acute Tox. 4 ; H302

Das Gemisch enthält die folgenden besonders besorgniserregenden Stoffe (SVHC), die in der Kandidatenliste gemäß REACH, Artikel 59 enthalten sind

Keine

Das Gemisch enthält die folgenden besonders besorgniserregenden Stoffe (SVHC), die zulassungspflichtig gemäß REACH, Anhang XIV sind

Keine

Zusätzliche Hinweise

Wortlaut der H- und EUH-Sätze: siehe Abschnitt 16.

ABSCHNITT 4: Erste-Hilfe-Maßnahmen

4.1 Beschreibung der Erste-Hilfe-Maßnahmen

Allgemeine Angaben

Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt hinzuziehen (wenn möglich, Betriebsanweisung oder Sicherheitsdatenblatt vorzeigen). Betroffenen aus dem Gefahrenbereich bringen und hinlegen. Niemals einer bewusstlosen Person oder bei auftretenden Krämpfen etwas über den Mund verabreichen. Bei Bewusstlosigkeit in stabile Seitenlage bringen und ärztlichen Rat einholen.