

Inspektionsbericht Nr. 52 027 -1

Auftraggeber: **Herr Prof. Wirz**
Berater der Bundesstelle für
Seeunfalluntersuchung
Königsberger Straße 4
25488 Holm

Auftrags-Nr. des Auftraggebers: --

Untersuchungen an zwei potentiell schadhafte Relais/ Schiffsobjekt „Northsea Rational“

Zweck der Untersuchungen: interne Auswertung beim Auftraggeber sowie
Auswertung mit der Bundesstelle für
Seeunfalluntersuchung

Datum der Untersuchungen: 17.03.2021 bis 15.04.2021

Inspektionsverfahren: VA: MQE-07-2019/01/ Schadensbegutachtung

Erstellung des Berichtes: **H. Oelschner, M. Sc.**
von der IHK zu Rostock öffentlich bestellter und vereidigter
Sachverständiger für metallische Werkstoffe,
Materialuntersuchungen und Schadensanalyse

Erbrachte Prüfleistungen: MQ Engineering GmbH, D-PL-19274-01-00 (MQE)

Untersuchungsdurchführung*:

Fotodokumentation: H. Oelschner, M. Sc. (MQE)

**Rasterelektronenmikroskopie und
EDX-Analyse:** H. Oelschner, M. Sc. (MQE)

Technische Dokumentation: P. Möller

Übergebene Exemplare: 2 x Auftraggeber in Deutsch in Schriftform
1 x Auftraggeber in Deutsch per E-Mail als PDF-Datei

Der Bericht umfasst: 8 Seiten und 2 Anlagen

Datum: 15.04.2021

Revisions-Nr.: **000**

** sofern Untersuchungen durchgeführt wurden und sofern nicht Bestandteil der Inspektionstätigkeit des Verfassers*

Stichworte: Relais, Kontakt

Ablage: U:\Untersuchungsberichte 2021\52027 TUHH\52027-1 Inspektionsbericht.docx

Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Untersuchungsmaterialien.

Eine auszugsweise Vervielfältigung des Berichtes ist nicht gestattet.

Das geprüfte Material wird 6 Monate bei der MQ Engineering GmbH aufbewahrt.

1. Sachverhalt

Durch den Auftraggeber waren zwei Relais der Rudersteuerung des Schiffsobjektes „Northsea Rational“ sowie ein neues baugleiches Vergleichsrelais zur Untersuchung übersandt worden.

Das Schiffsobjekt hatte zuvor einen Unfall, bei dem ein Kontakt mit dem Pier im Hamburger Hafen eintrat. Im Rahmen der Analyse des Unfalls durch den Auftraggeber wurden die übersandten Relais als potentiell unfallursachenrelevant eingestuft.

Aufgabenstellung für die Untersuchungen war es gewesen, die Relais hinsichtlich etwaiger Schädigungen und Auffälligkeiten zu untersuchen, die eine mögliche Fehlfunktion ausgelöst haben könnten.

2. Ergebnis/ Zusammenfassung

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen konnte zunächst gezeigt werden, dass die bereits durch die Gehäuse der beiden Relais sichtbaren Ablagerungen nicht aus einem stark überhöhten Stromfluss oder einem Kurzschluss resultierten. Vielmehr handelte es sich bei diesen Ablagerungen um Verschleißmaterial, das in einem mechanischen Kontaktbereich mit den Schaltzustandanzeigern der beiden Relais gebildet wurde. Die Ablagerungen sind somit auf die Kombination der konstruktiven Ausführung der Relais mit den betriebsbedingten Schaltvorgängen zurückzuführen.

Die äußeren Arbeitskontakte des backbordseitigen Relais wiesen auffällige mechanische Beschädigungen auf, die offensichtlich auf eine (unsachgemäße) Reinigung der Kontakte zurückzuführen sind. Übereinstimmend mit dieser Annahme einer äußeren Einwirkung zeigten die Gehäusenasen dieses Relais Beschädigungen, die auf ein Öffnen des Relais hindeuten. Der mittlere der drei Arbeitskontakte dieses Relais, der bei dieser „Reinigung“ offensichtlich nicht zugänglich war, wies eine flächige Silbersulfidbelegung auf, die zu einer Erhöhung des Übergangswiderstandes führen kann und mit hoher Wahrscheinlichkeit auch den Anlass der Reinigung darstellte.

Die Kontakte des steuerbordseitigen Relais zeigten hingegen lediglich lokale Fremdmaterialeablagerungen. Auffällig war hier jedoch, dass die Arbeitskontakte Anzeichen einer Oberflächenzerrüttung aufwiesen, die jedoch (noch) nicht mit der Bildung großflächiger Ausbrüche einherging.

Anzeichen für ausgeprägte Entladungs-/ Kurzschlusserscheinungen wurden im Rahmen der Untersuchungen nicht aufgefunden.

3. Untersuchungsmaterial

Für die Untersuchungen standen zwei Relais der Rudersteuerung des Schiffsobjektes „Northsea Rational“ selbst zur Verfügung (siehe Bild 1.1 sowie Tabelle 1). Die Relais wurden zuvor bereits einer Funktionsprüfung durch Prof. Ackermann (Technische Universität Hamburg) unterzogen. Der entsprechende Inspektionsbericht war durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellt worden [1]. Für die in [1] dokumentierten elektrischen Funktionsprüfungen wurde ein baugleiches Vergleichsrelais beschafft, dass auch für die aktuell durchzuführenden Untersuchungen zur Verfügung gestellt wurde. Im Rahmen der Prüfungen zu [1] wurden keine signifikanten Unterschiede in der Funktionstüchtigkeit der drei Relais festgestellt.

Tabelle 1: Untersuchungsmaterial

Pos.	Untersuchungsteil	Relaistyp	Bemerkungen	Bilder in Anlage 1
1	Relais Backbord	„finder 60.13.9.024.0040“	handschriftliche Kennzeichnung „PORT“; das Relais war noch in den Sockel eingesteckt	1.1
2	Relais Steuerbord		handschriftliche Kennzeichnung „STRB“; das Relais war noch in den Sockel eingesteckt	
3	Vergleichsrelais		von den beiden betriebsbeanspruchten Relais abweichende Darstellung der Kennzeichnung; offensichtlich handelt es sich nur um eine äußere optische Abweichung ohne Änderung der Funktionskomponenten	

4. Durchgeführte Untersuchungen

A Visuelle Prüfung

B Untersuchungen im Rasterelektronenmikroskop (REM) unter Zuhilfenahme von Rückstromelektronen-(BSE-) Detektor und EDX-Analyse

5. Ergebnisse der Untersuchungen

A Visuelle Prüfung

Die zur Untersuchung übersandten Relais wurden zunächst im Anlieferungszustand fotodokumentiert. Nachfolgend wurden die Relais schrittweise demontiert und einer visuellen Prüfung unter Zuhilfenahme eines Stereomikroskops unterzogen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Anlage 1 dokumentiert und werden in nachfolgender Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Ergebnisse der visuellen Prüfung

Pos.	Untersuchungsteil	Befund	Bilder in Anlage 1
1	Relais Backbord	<p>bereits im Anlieferungszustand waren innerhalb des Gehäuses schwarze Ablagerungen sichtbar, die in den an die Schaltkontakte angrenzenden Bereiche am stärksten ausgeprägt waren (Bild 1.2);</p> <p>auffällig war weiterhin, dass die Gehäusenase mechanisch beschädigt war, was auf ein bereits zuvor erfolgtes Öffnen des Gehäuses hindeutet (Bild 1.2);</p> <p>nach der Öffnung des Gehäuses wurde festgestellt, dass die schwarzen Ablagerungen nicht unmittelbar aus den Schaltkontaktbereichen stammten, sondern von Reibstellen an der Abstützung des Schaltzustandsanzeiger ausgingen (Bilder 1.3 und 1.4); diese Reibstellen lagen nur an den beiden äußeren Ruhekontakten vor, die im Kontakt mit dem Schaltzustandsanzeiger standen (Bild 1.4);</p> <p>die drei Ruhekontakte (normally close, NC) zeigten stark ausgeprägte flächige gelbliche Verfärbungen/ Ablagerungen um den eigentlichen Kontaktbereich herum (Bilder 1.5 und 1.6);</p> <p>die beiden äußeren Arbeitskontakte (normally open, NO) wiesen mechanische Beschädigungen auf, deren Verlaufsrichtung nicht mit betriebsüblichen Bewegungen erklärbar ist (Bilder 1.5 und 1.7);</p> <p>der mittlere Arbeitskontakt zeigte hingegen flächige bräunliche Verfärbungen/ Ablagerungen (Bilder 1.5 und 1.7);</p> <p>an den Lötstellen für die Anschlusskabel der Arbeitskontakte war die Isolierung im unmittelbaren Anschlussbereich leicht angeschmolzen (Bild 1.7)</p>	1.2 bis 1.7
2	Relais Steuerbord	<p>auch das steuerbordseitige Relais wies innerhalb des Gehäuses schwarze Ablagerungen auf, die hier im Vergleich mit dem backbordseitigen Relais nochmals stärker ausgeprägt waren (Bild 1.8); diese Ablagerungen stammten nach visuellem Befund wiederum aus dem Kontaktbereich des Schaltzustandsanzeiger mit den Außenseiten der Ruhekontakte (Bilder 1.9 und 1.10); die in den Kontaktbereichen ausgebildeten Reibstellen lagen wiederum an den beiden äußeren Ruhekontakten vor (Bild 1.10);</p> <p>sowohl die Ruhekontakte als auch die Arbeitskontakte zeigten Verfärbungen/ Ablagerungen, die jedoch im Vergleich mit den Kontakten des backbordseitigen Relais schwach ausgeprägt waren (Bilder 1.11 bis 1.13);</p> <p>an den Lötstellen für die Anschlusskabel der Arbeitskontakte war die Isolierung im unmittelbaren Anschlussbereich leicht angeschmolzen (Bild 1.13)</p>	1.8 bis 1.13
3	Vergleichsrelais	<p>das zu Vergleichszwecken demontierte neue Relais zeigte bis auf leichte Abflachungen an den Arbeitskontakten (offensichtlich handelt es sich um während der elektrischen Funktionsprüfung ausgebildete Abflachungen) keine Auffälligkeiten (Bild 1.14)</p>	1.14

B Untersuchungen im Rasterelektronenmikroskop (REM) unter Zuhilfenahme von Rückstreuelektronen-(BSE-) Detektor und EDX-Analyse

Zur weiteren Bearbeitung der Aufgabenstellung wurden ausgewählte Bauteilbereiche des backbord- und des steuerbordseitigen Relais im Rasterelektronenmikroskop (REM) unter Zuhilfenahme von Rückstreuelektronen-(BSE-) Detektor und EDX-Analyse hinsichtlich der visuell festgestellten Auffälligkeiten untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Anlage 2 dokumentiert und werden in nachfolgender Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Ergebnisse der REM-, BSE- und EDX-Analyse

Pos.	Untersuchungsteil	Untersuchungsbereich/ REM-Probe Nr./ Probenentnahme in Anlage 1	Befund	Bilder in Anlage 2
1	Relais Backbord	Schaltzustandsanzeiger mit Ablagerungen/ REM-Probe 1/ Bild 1.3	der Schaltzustandsanzeiger selbst bestand aus einem glasfaserverstärkten Kunststoff (Bild 2.3, Spektren 1 und 2); die Ablagerungen wiesen neben hohen Kohlenstoff- und Sauerstoffgehalten die Hauptelemente Zinn, Kupfer und Zink auf (Bild 2.4, Spektrum 4)	2.2 bis 2.4
		Kontaktbereich des Schaltzustandsanzeigers mit den äußeren Ruhekontakten/ REM-Probe 2/ Bild 1.4	der (mechanische) Kontaktbereich wies eine Verzinnung auf (Bild 2.6, Spektrum 5); in dem makroskopisch verschlissenen Bereich wurden hohe Kupfer- und Zinkgehalte ermittelt (Messingbauteil, Bilder 2.6 und 2.7, Spektrum 7 bis 9)	2.5 bis 2.8
		Arbeitskontakte der Kontaktzunge/ REM-Probe 3/ Bild 1.5	die Oberflächen der beiden äußeren Kontakte wiesen zahlreiche mechanische Beschädigungen in Form von Furchungen außerhalb des eigentlichen Hauptkontaktbereiches auf (Bilder 2.10, 2.11 und 2.16); im unmittelbaren Hauptkontaktbereich war die Oberfläche an allen drei Kontakten abgeplattet (Bilder 2.10, 2.15 und 2.16); bei dem Kontaktmaterial handelte es sich übereinstimmend mit Herstellerangaben aus /1/ um eine Silber-Nickel-Legierung (Bild 2.12, Spektren 10 und 11); um die Hauptkontaktbereiche herum lag feinkörniges (Verschleiß-) Material des Kontaktes selbst vor (Bild 2.13, Spektrum 12); in den mechanischen Beschädigungen war lokal Fremdmaterial mit hohen Kohlenstoff-, Sauerstoff- und Calciumgehalten eingelagert (Bild 2.13, Spektrum 13); der mittlere (nicht mechanisch beschädigte) Kontakt wies bei Nutzung einer geringen Beschleunigungsspannung* (10 kV) übereinstimmend mit dem visuellen Befund einer verfarbten Oberfläche eine flächige Belegung auf (Bild 2.14); dieser Belag wies auffällig hohe Schwefel- und Silbergehalte auf (Bild 2.14, Spektrum 15); die mechanisch beschädigten Kontaktoberflächen zeigten keine vergleichbare Belegung mehr (Bild 2.17)	2.9 bis 2.17
2	Relais Steuerbord	Arbeitskontakte der Kontaktzunge/ REM-Probe 4/ Bild 1.11	auch die Kontakte dieses Relais wurden aus einer Silber-Nickel-Legierung hergestellt (Bild 2.19, Spektren 17 und 18); im Randbereich des Hauptkontaktes lag lokal wiederum feinkörniges (Verschleiß-) Material des Kontaktes selbst vor (Bild 2.20, Spektrum 20); die Hauptkontaktbereiche zeigten Merkmale einer Oberflächenzerrütung und waren in den Randbereichen einseitig abgeplattet (Bilder 2.21, 2.22, 2.24 und 2.25); lokal wurden auf den Kontaktoberflächen Fremdmaterial mit erhöhten Kohlenstoff-, Sauerstoff und Schwefelgehalten sowie Messingablagerungen festgestellt (Bild 2.23, Spektren 21 und 22)	2.18 bis 2.25
3	Vergleichsrelais	--	--	--

* Aus der Verringerung der Beschleunigungsspannung resultiert eine verringerte Eindring- und Informationstiefe, wodurch „dünne“ Oberflächenbelegungen verstärkt dargestellt werden können.

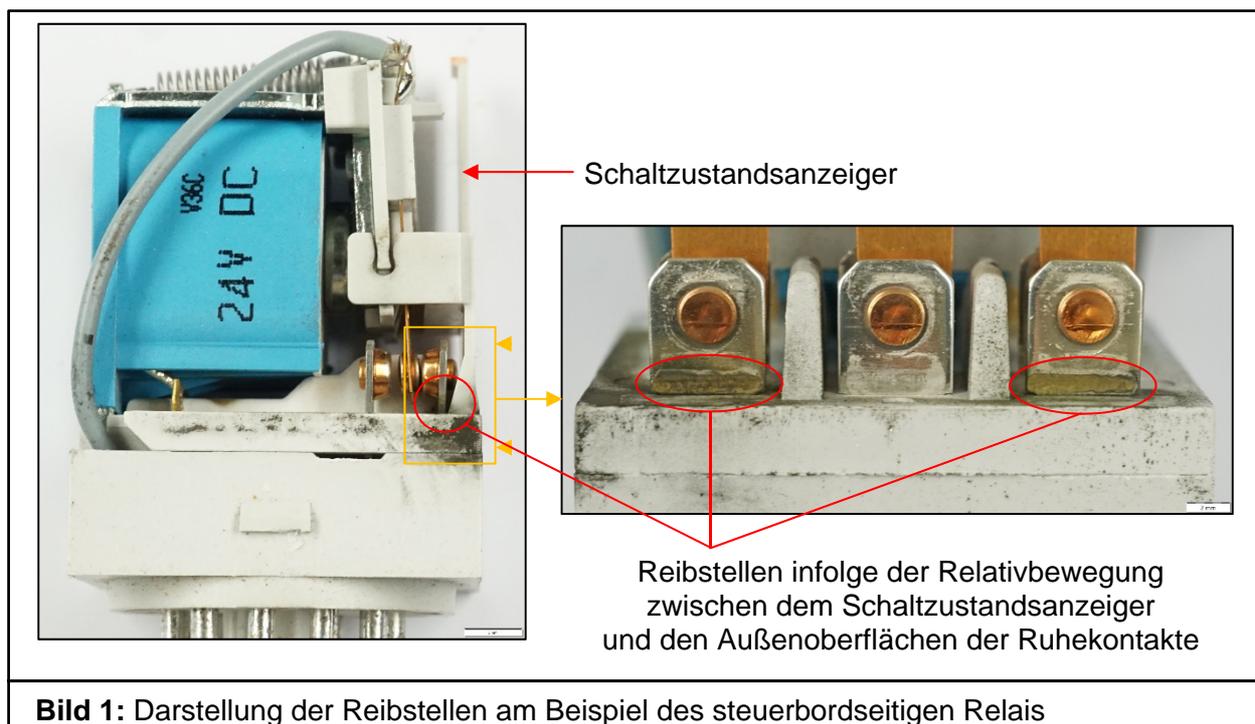
6. Bewertung und Diskussion

Aufgabenstellung für die Untersuchungen an Relais der Ruderanlage des Schiffsobjektes „Northsea Rational“ war es gewesen, die Relais hinsichtlich etwaiger Schädigungen und Auffälligkeiten zu untersuchen, die eine mögliche Fehlfunktion ausgelöst haben könnten.

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen und bewerten:

Herkunft der auffälligen Ablagerungen in den Relaisgehäusen

1. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen konnte zunächst gezeigt werden, dass die bereits durch die Gehäuse der Relais sichtbaren Ablagerungen nicht aus einem stark überhöhten Stromfluss oder einem Kurzschluss resultierten.
2. Vielmehr konnte nachgewiesen werden, dass es sich bei den Ablagerungen um mechanisches Verschleißmaterial aus dem Kontaktbereich zwischen den äußeren Ruhekontakten und dem Schaltzustandsanzeiger handelte (siehe hierzu auch nachfolgendes Bild 1).
3. So handelte es sich im Ergebnis der durchgeführten EDX-Analyse bei den visuell sichtbaren Ablagerungen um Material mit hohen Zinn-, Kupfer- und Zinkgehalten, das als Verschleißmaterial der Außenoberflächen der Ruhekontakte (verzinntes Messing) eingestuft werden muss.
4. Der Verschleiß an dieser Bauteilposition selbst ist auf die Relativbewegung an diesem konstruktiv vorgesehenen Abstützungspunkt des Schaltzustandsanzeigers zurückzuführen, wie sie bei jedem Schaltzyklus des Relais auftritt. Der Schaltzustandsanzeiger bestand aus einem glasfaserverstärkten Kunststoff und zeigte selbst keinen signifikanten Verschleiß.
5. Zusammenfassend kann zu den bereits visuell sichtbaren Ablagerungen ausgesagt werden, dass diese aus einem rein mechanischen Verschleiß resultierten, der auf die vorliegende Konstruktion in Kombination mit den betriebsbedingten (zahlreichen) Schaltspielen zurückzuführen ist.



Bewertung des Zustandes der Relaiskontakte

6. Im Rahmen der Untersuchung der Relaiskontakte konnte zunächst festgestellt werden, dass die Oberflächen der beiden äußeren Arbeitskontakte des backbordseitigen Relais auffällige mechanische Beschädigungen aufwiesen, während der mittlere dieser der drei Arbeitskontakte flächige Verfärbungen/ Ablagerungen zeigte.
7. Bei den mechanischen Beschädigungen handelte es sich um Furchungen, deren Verlaufsrichtung nicht mit den betriebsüblichen (Kontakt-) Bewegungen korrelierte. Aufgrund dieser Beschädigungen, die nur durch eine äußere Einwirkung zu erklären sind sowie aufgrund der Tatsache, dass auch an den Gehäusenasen dieses Relais Beschädigungen vorhanden waren, muss angenommen werden, dass das Relais bereits zuvor geöffnet wurde.
8. Die bereits makroskopisch sichtbare Verfärbung des mittleren Arbeitskontaktes des backbordseitigen Relais ist basierend auf den Untersuchungsergebnissen auf eine Belegung der Kontaktoberfläche mit Silbersulfid zurückzuführen. Auch die drei Ruhekontakte dieses Relais zeigten flächige Verfärbungen/ Ablagerungen.
9. Nach Angaben in /2/ können Kontakte aus Silber- und Silberlegierungen bei Einwirkung schwefelhaltiger Atmosphäre Schichten aus Silbersulfid ausbilden. Dies führt zu einer Erhöhung des Übergangswiderstandes, sofern durch das Schalten des Relais kein Aufbrechen dieser Schichten eintritt /2/. Die Bildung dieser Schichten erfolgt daher zumeist überwiegend im Ruhezustand der Relais.
10. Im vorliegenden Fall ist davon auszugehen, dass das backbordseitige Relais geöffnet wurde, um eine (unsachgemäße) Reinigung der Kontakte vorzunehmen, wobei lediglich die beiden äußeren Kontakte zugänglich waren. Dies deutet darauf hin, dass bereits zuvor Probleme mit diesem Relais (möglicherweise aufgrund der vorliegenden Belegung mit Silbersulfid) aufgetreten sind.
11. Die durch die „Reinigung“ in die Kontaktoberflächen eingebrachten Furchungen wurden im Bereich des unmittelbaren (mechanischen) Hauptkontaktes abgeplattet. Ob diese Abplattung noch im Einbauzustand in dem Schiffsobjekt oder erst während der nachfolgenden elektrischen Funktionsprüfung eintraten, kann jedoch nicht mehr zweifelfrei geklärt werden. So zeigte das neue Vergleichsrelais nach der elektrischen Funktionsprüfung ebenfalls bereits eine visuell sichtbare Ausbildung von mechanischen Kontaktstellen an den Arbeitskontakten.
12. Die Kontaktflächen des steuerbordseitigen Relais zeigten hingegen keine flächige Belegung mit Ablagerungen. Lediglich lokal wurde Fremdmaterial auf den Kontaktflächen aufgefunden, dass z.T. erhöhte Schwefel- sowie Kupfer- und Zinkgehalte aufwies.
13. Auffällig war hier jedoch, dass die mechanischen Hauptkontaktbereiche der Arbeitskontakte Anzeichen einer Oberflächenzerrüttung aufwiesen, wie sie nach Angaben in /3/ unter zyklischer Beanspruchung unter Akkumulation von plastischen Deformationsanteilen auftritt. Diese Zerrüttung ging jedoch (noch) nicht mit der Bildung großflächiger Ausbrüche einher.
14. In Hinblick auf die bereits durch die Gehäuse der Relais sichtbaren Ablagerungen, die aus dem Verschleißbereich zwischen den äußeren Ruhekontakten und dem Schaltzustandsanzeiger stammten, kann ausgesagt werden, dass diese Zinn- und Messingablagerungen lediglich lokal auf den Kontakten nachgewiesen wurden.
15. Nach Angaben in /4/ stellen Fremdschichten, Fremdpartikel und Entladungserscheinungen grundsätzlich die Haupteinflüsse auf Kontaktstellen an Relais dar. Anzeichen für ausgeprägte Entladungserscheinungen wurden im Rahmen der Untersuchungen nicht aufgefunden.



16. Die in beiden Relais vorliegenden Verschleißprodukte sowie die zusätzlich an dem backbordseitigen Relais aufgefundenen Silbersulfidschichten sind daher als potentielle Ursachen einer zumindest zeitweise eingetretenen Fehlfunktion einzustufen. Die Tatsache, dass die äußeren Kontakte des backbordseitigen Relais „mechanisch gereinigt“ wurden, lässt vermuten, dass bereits zuvor Probleme mit diesem Relais aufgetreten sind und dass diese offensichtlich im Zusammenhang mit den vorliegenden Kontaktoberflächen standen.

7. Verzeichnis der Anlagen

- Anlage 1 Untersuchungsmaterial/ Ergebnisse der visuellen Prüfung
Anlage 2 Ergebnisse der REM-, BSE- und EDX-Analyse

8. Literatur

- /1/ Herstellerdatenblatt der Fa. Finder: „Serie 60, Industrirelais 6 - 10 A“, Informationen aus dem Internet;
<https://cdn.findernet.com/app/uploads/2020/09/22091954/S60DE-1.pdf>,
(zuletzt abgerufen am 22.03.2021)
- /2/ Schultze, W., Osaka, T., Datts, M.: Electrochemical Microsystem Technologies, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2002
- /3/ Sommer, K., Heinz, R., Schöfer, J.: Verschleiß metallischer Werkstoffe. Erscheinungsformen sicher beurteilen. Vieweg + Teubner Verlag, 2010
- /4/ Vinaricky, E., Schröder, K.-H., Weiser, J.: Elektrische Kontakte, Werkstoffe und Anwendungen, Springer Verlag, 2002

9. Quellen

- [1] Inspection report: “Findings of the Inspection of the Relay of the Rudder Controller M/T Northsea Rational”, 29.01.2021

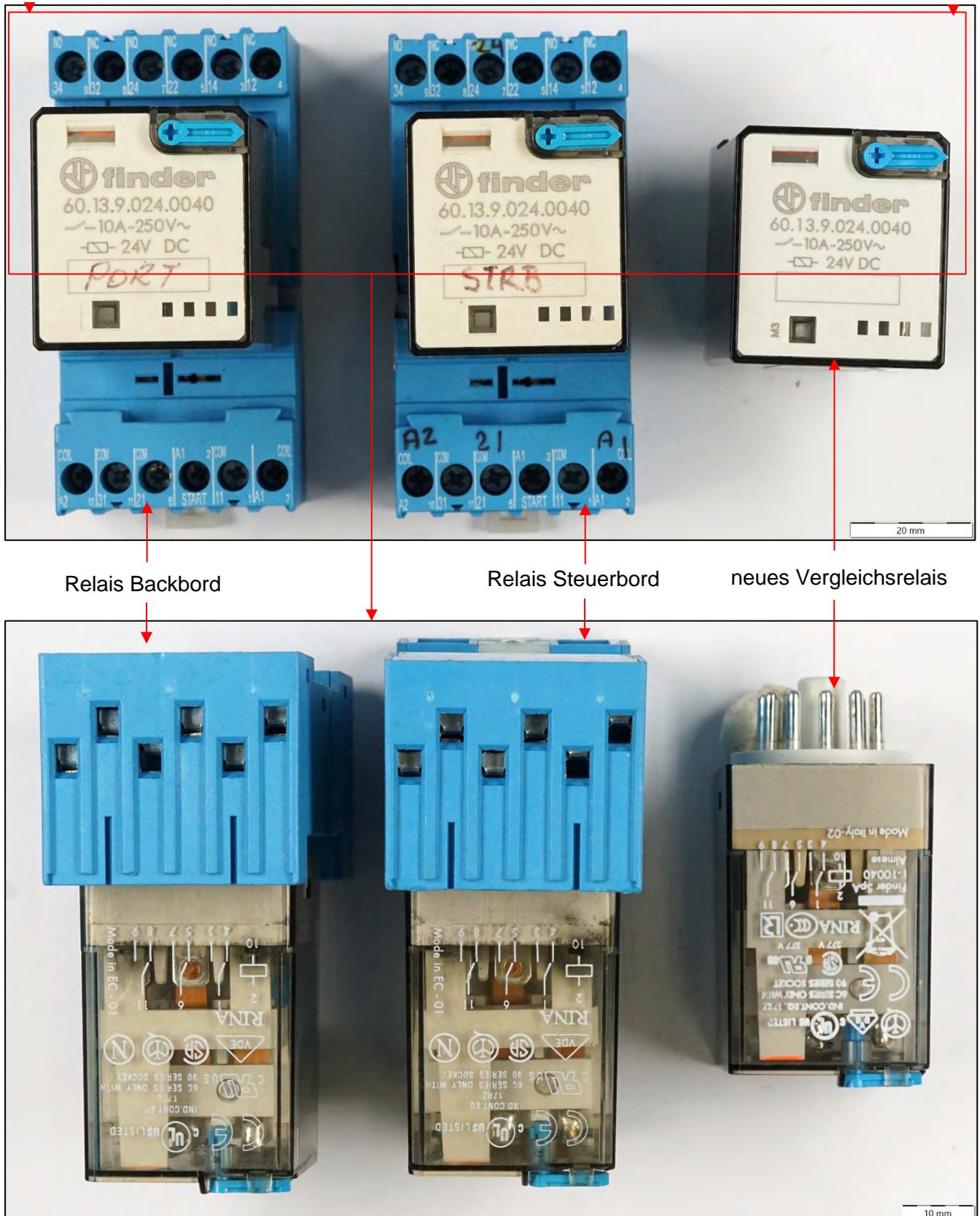


Bild 1.1 Schiffsojekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais

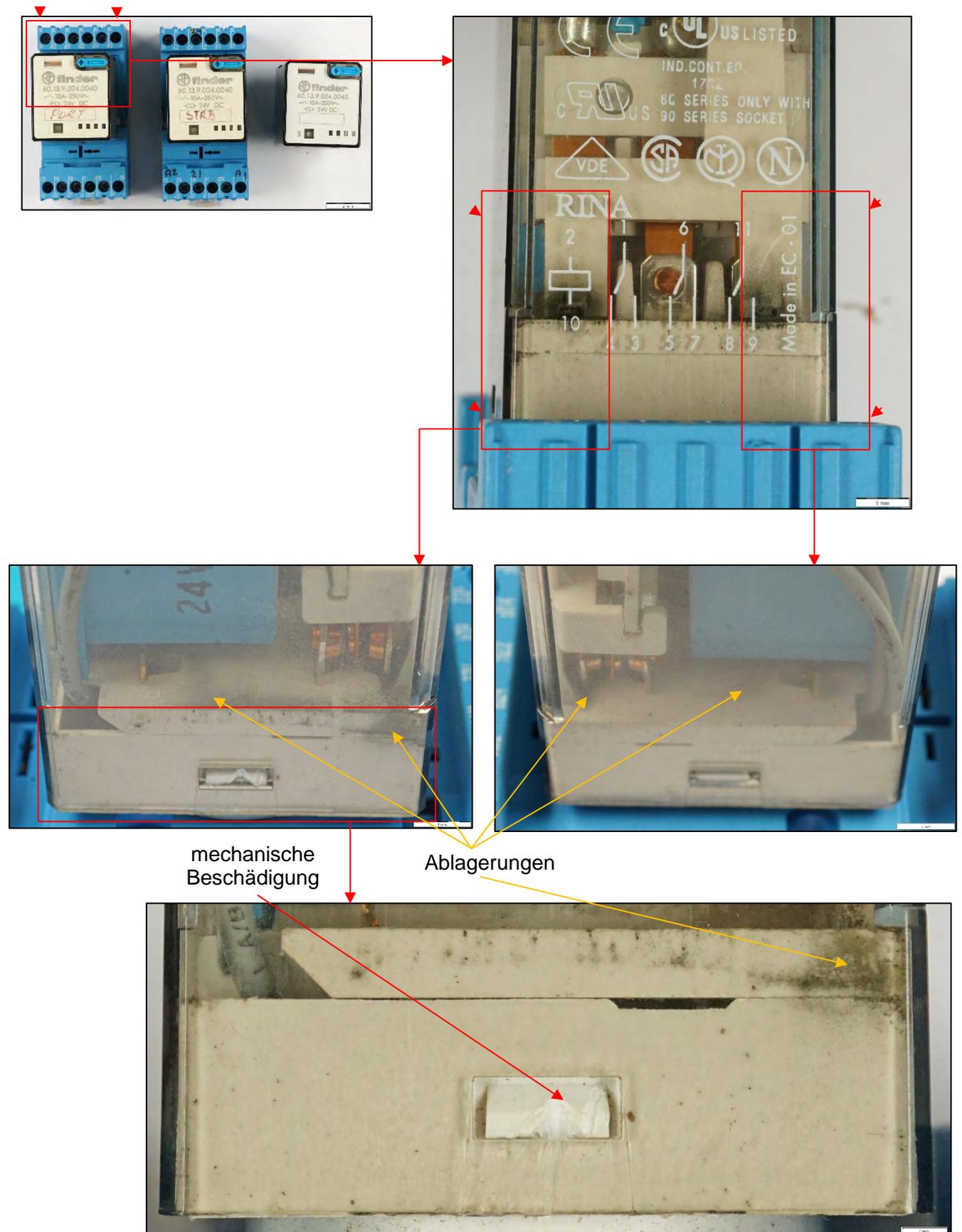
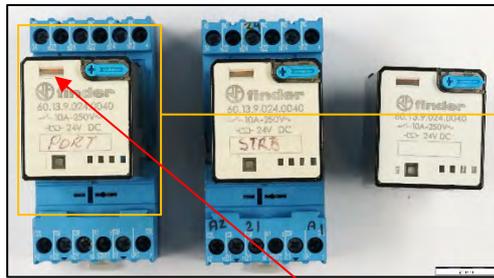
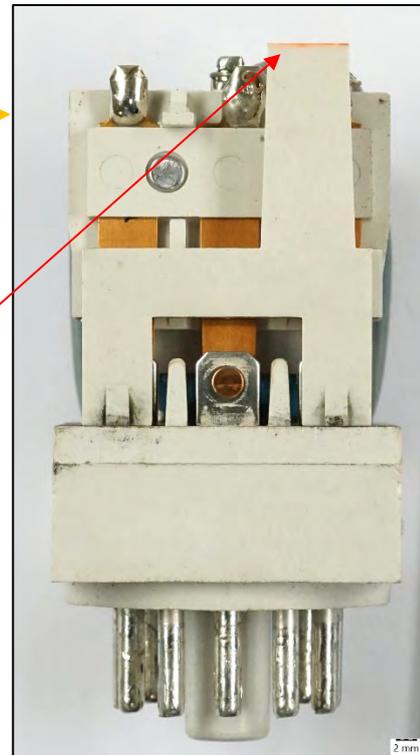


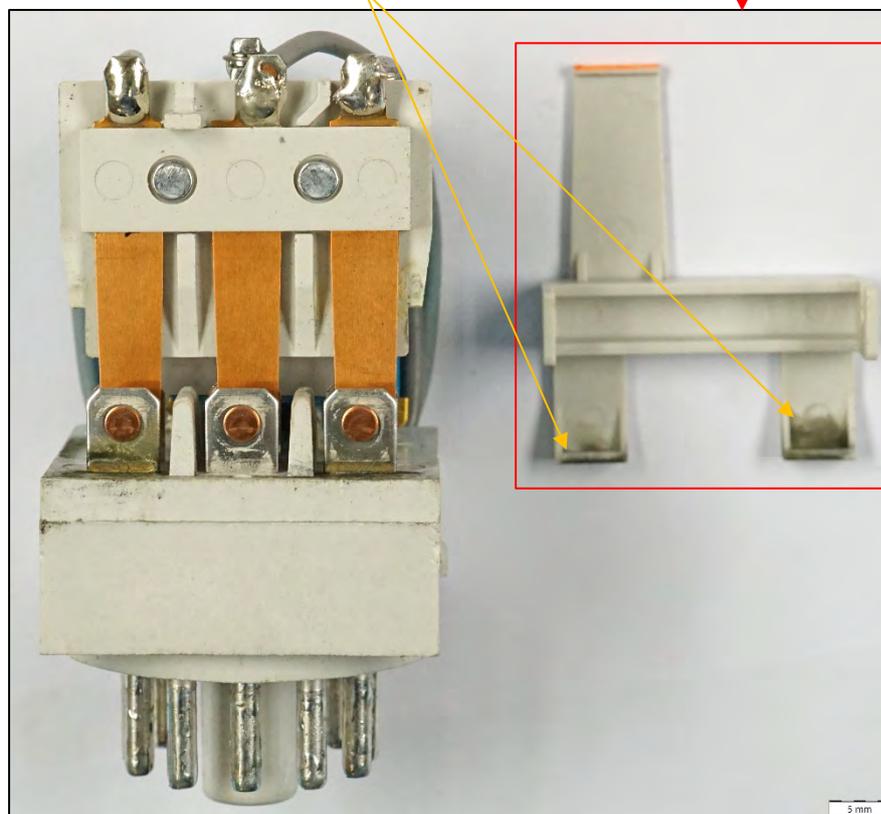
Bild 1.2 Schiffssobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord



Schaltzustandsanzeiger



Ablagerungen



REM-Probe 1

Bild 1.3 Schiffsojekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord

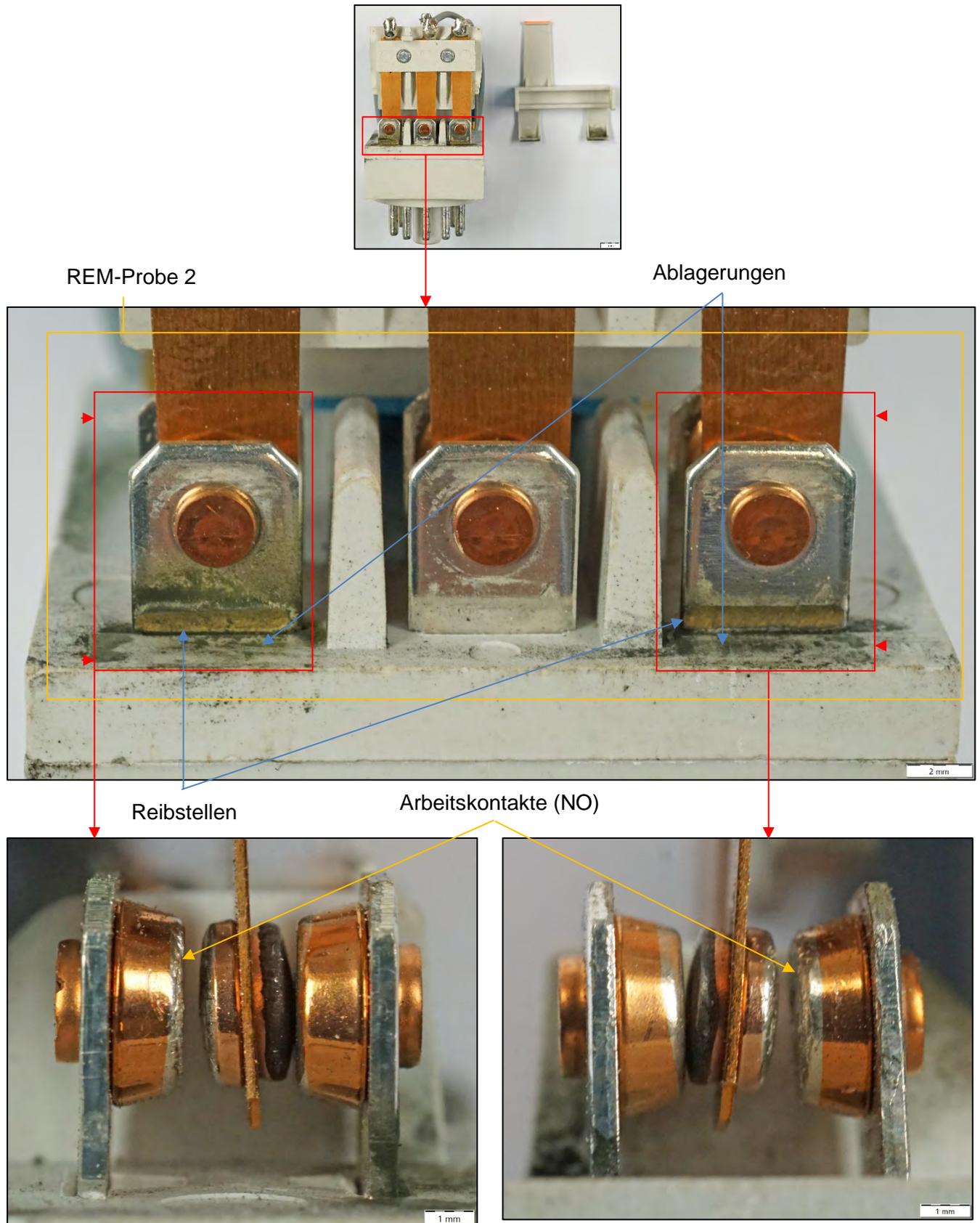
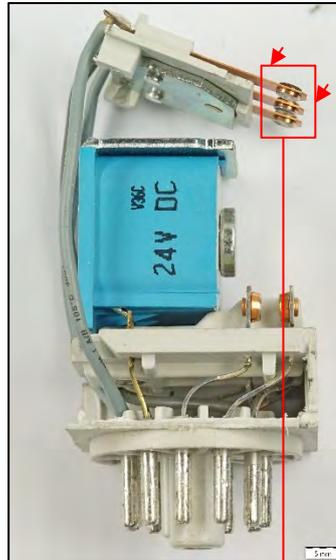
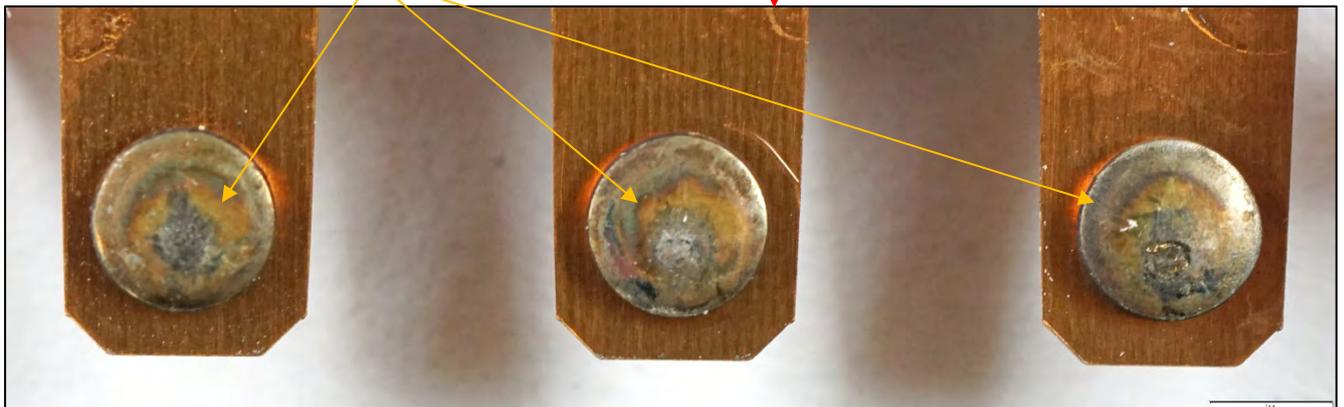


Bild 1.4 Schiffsojekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord



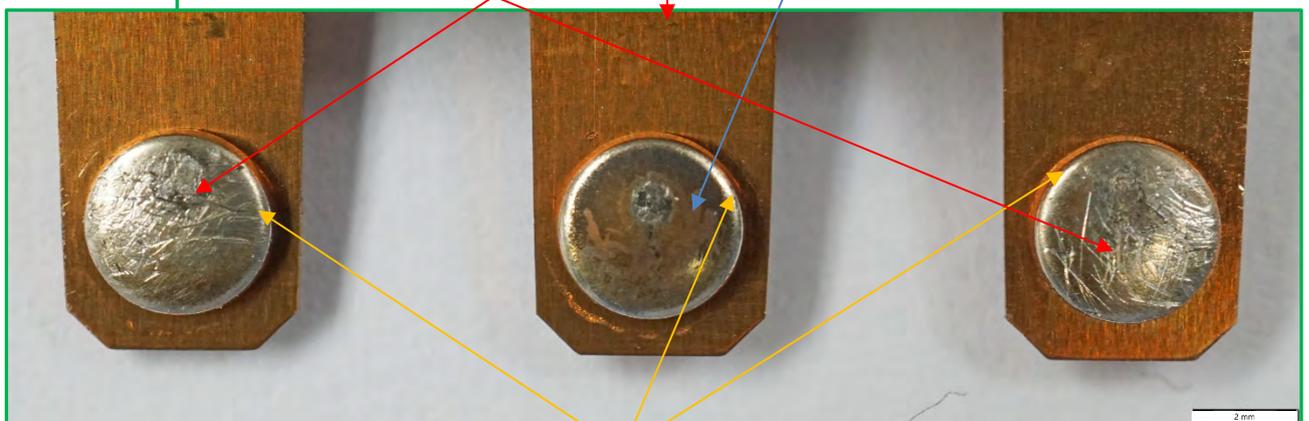
Ruhekontakte (NC) mit Verfärbungen/ Ablagerungen



REM-Probe 3

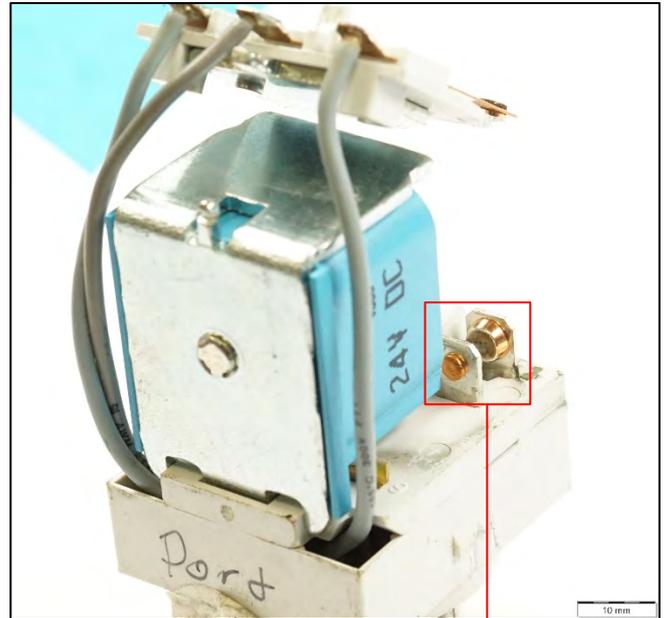
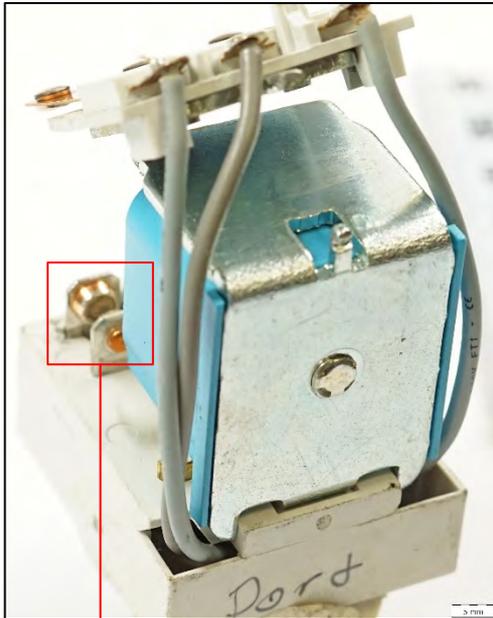
mechanische Beschädigungen

Verfärbungen/
Ablagerungen



Arbeitskontakte (NO)

Bild 1.5 Schiffssobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord



Ruhekontakte (NC) mit Verfärbungen/ Ablagerungen

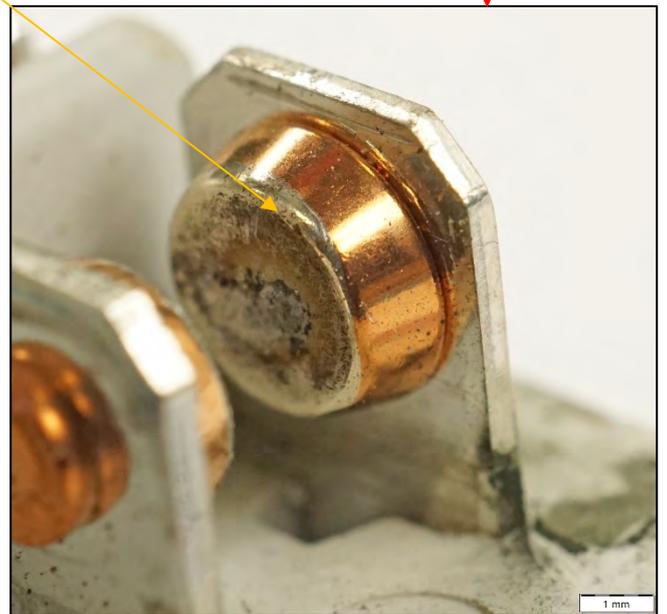
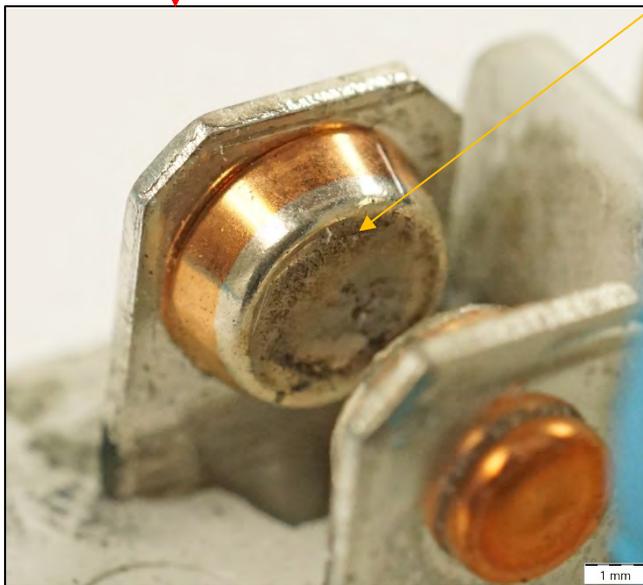


Bild 1.6 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord

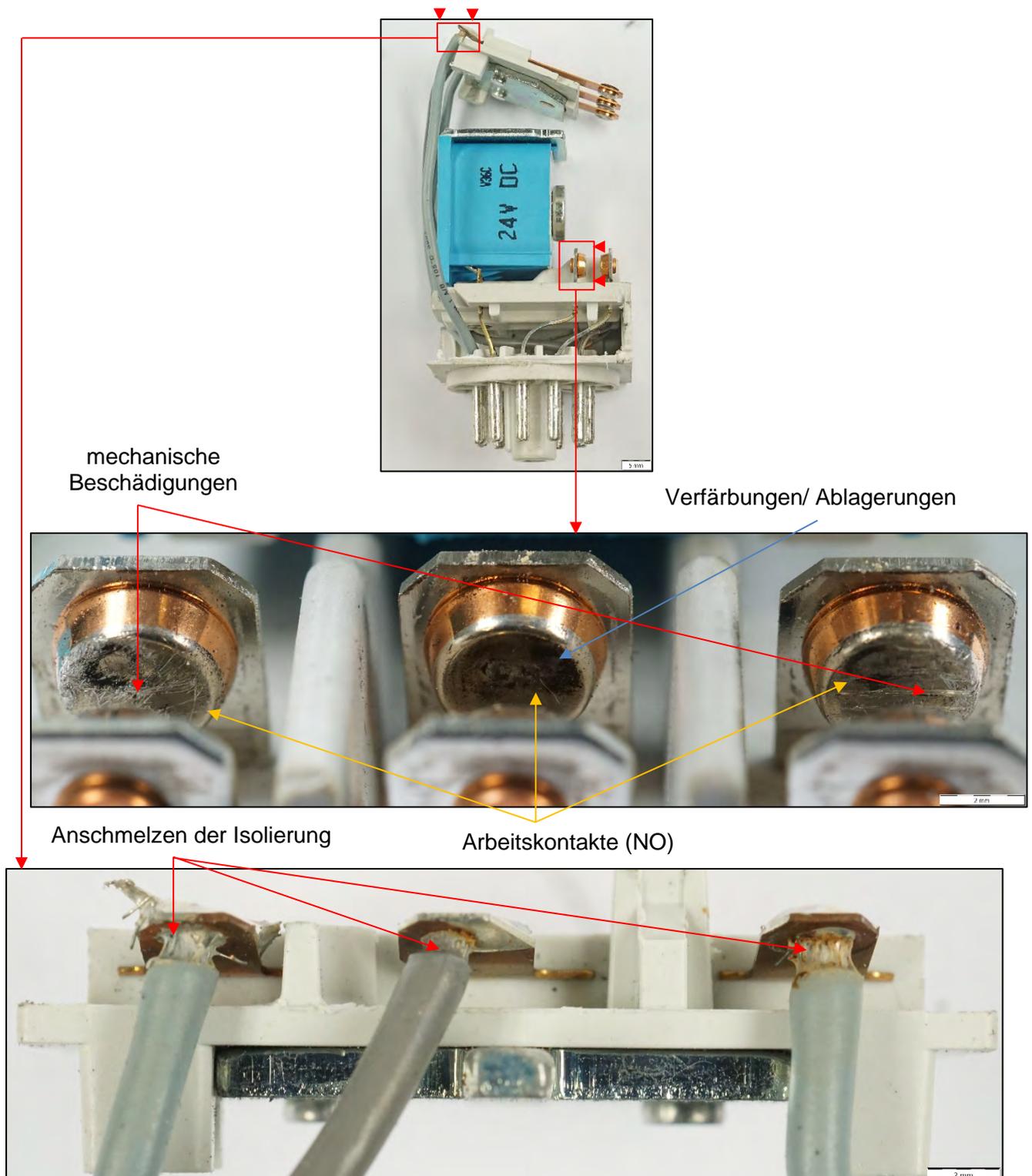


Bild 1.7 Schiffsojekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord

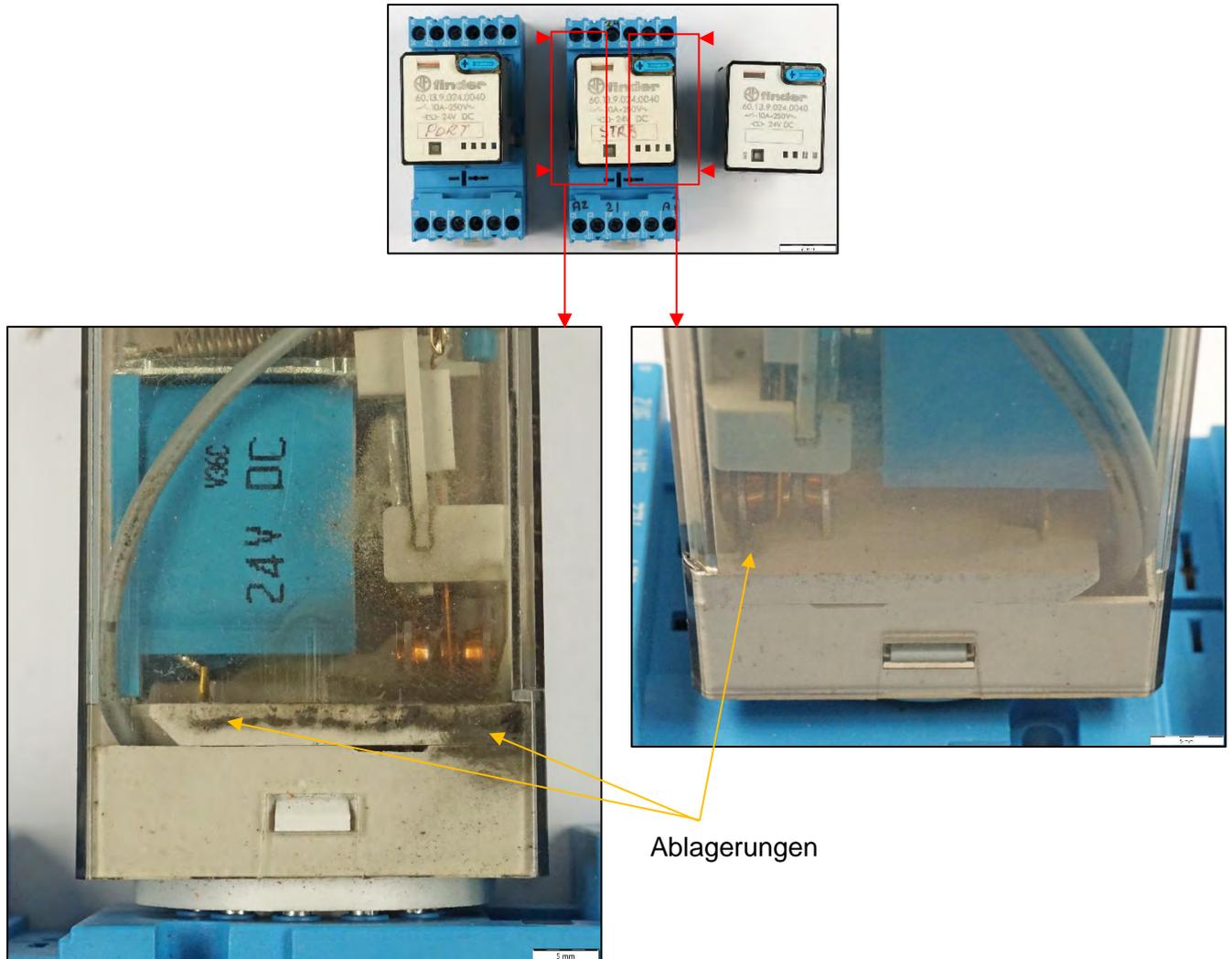


Bild 1.8 Schiffssobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Steuerbord

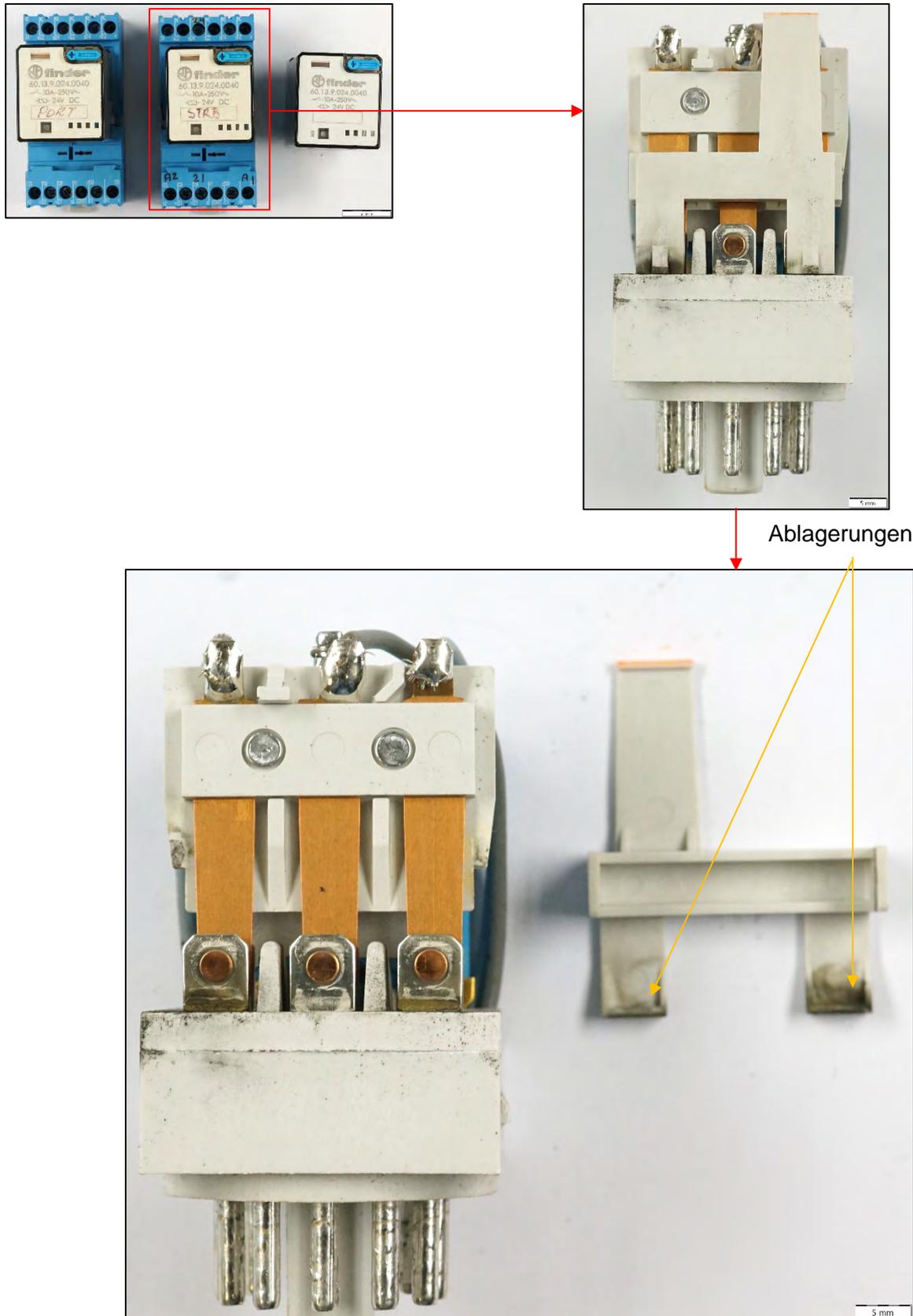


Bild 1.9 Schiffsojekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Steuerbord

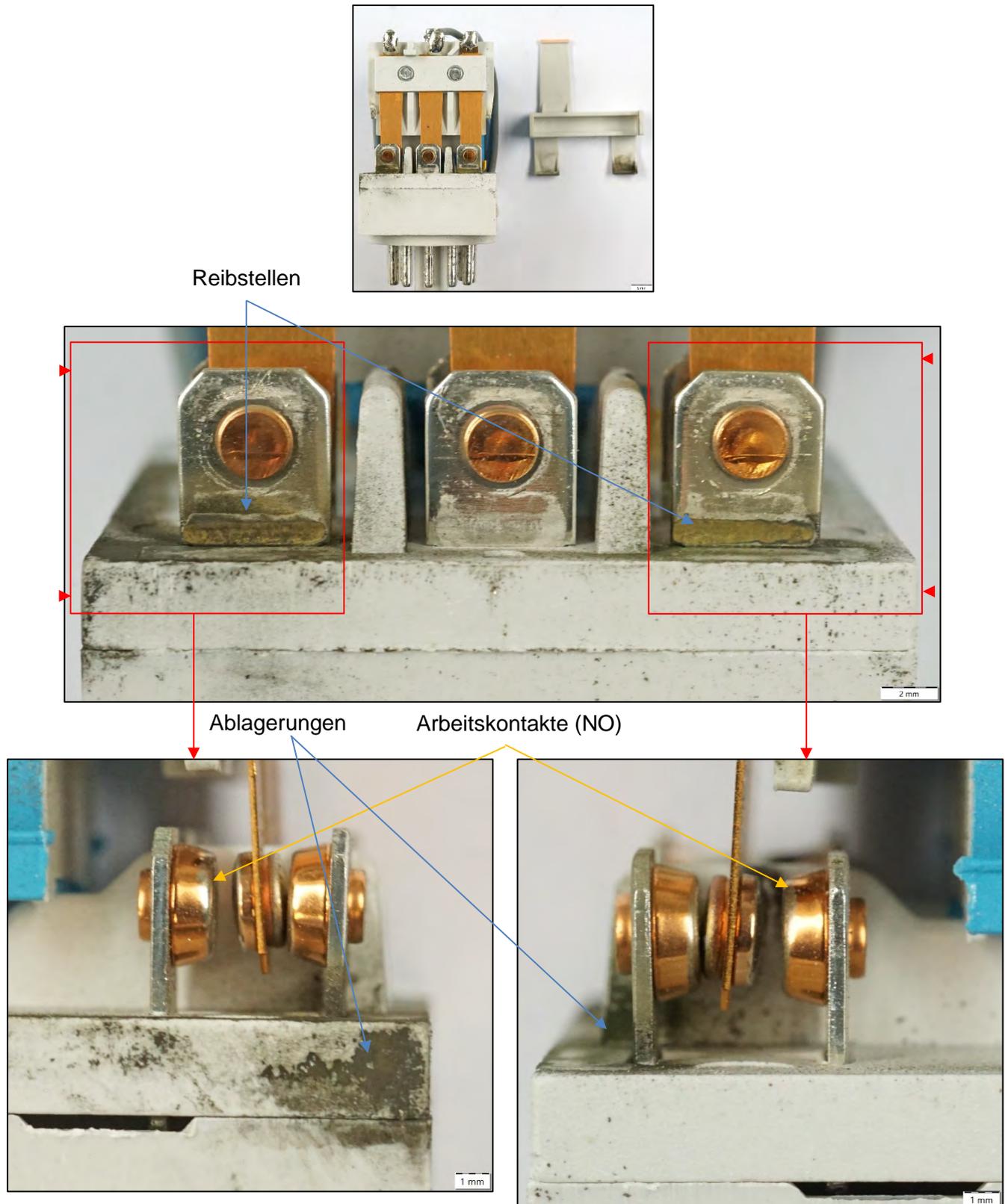
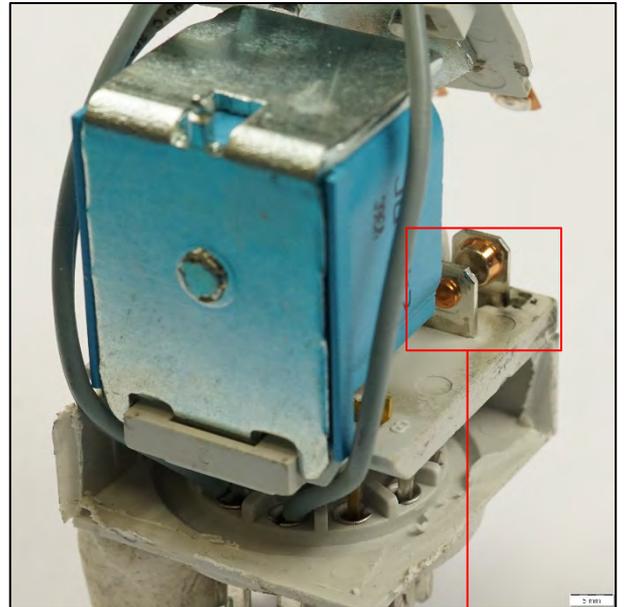
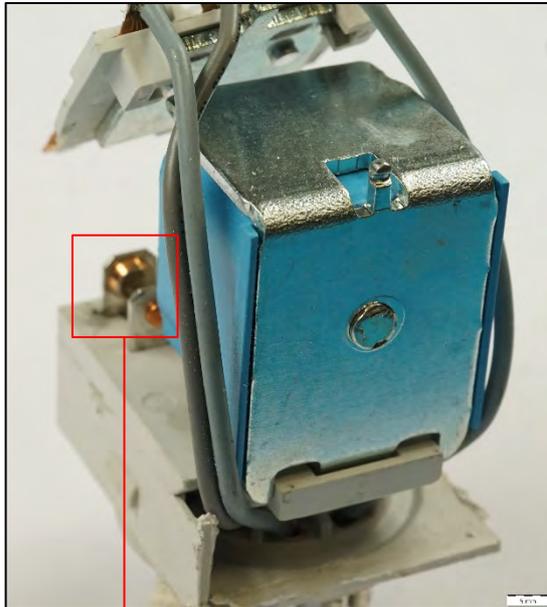


Bild 1.10 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Steuerbord



Ruhekontakte (NC) mit leichten Verfärbungen/ Ablagerungen

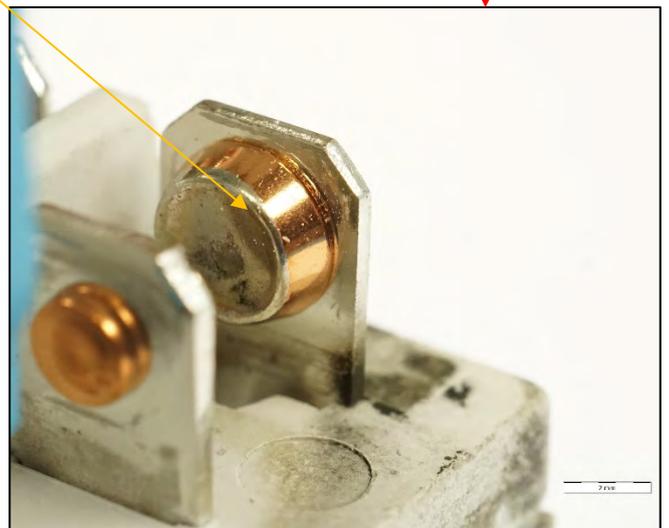
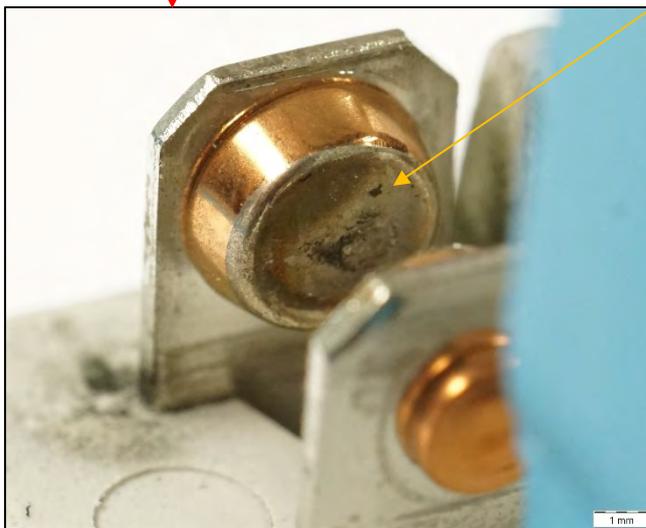


Bild 1.12 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Steuerbord

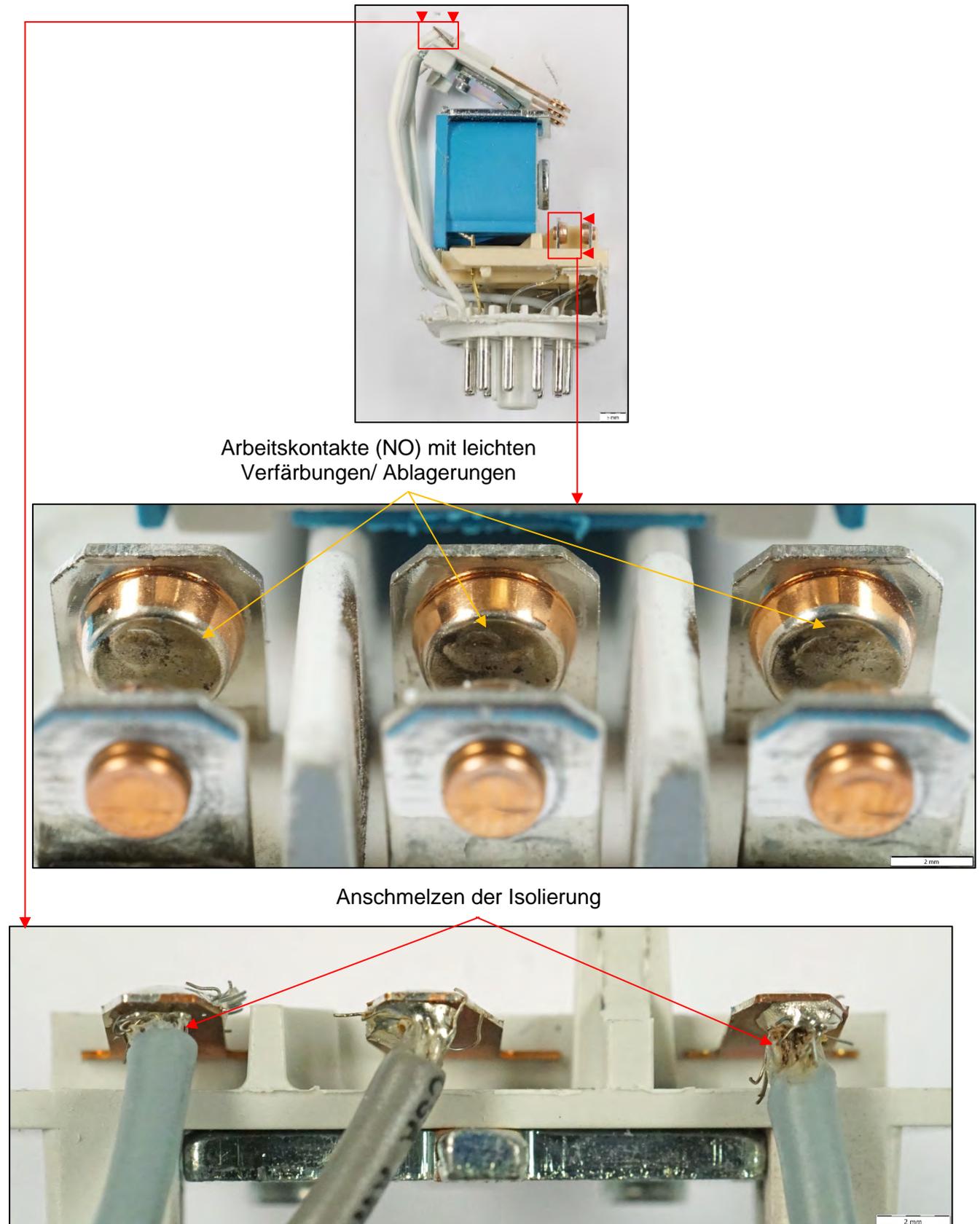


Bild 1.13 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Steuerbord

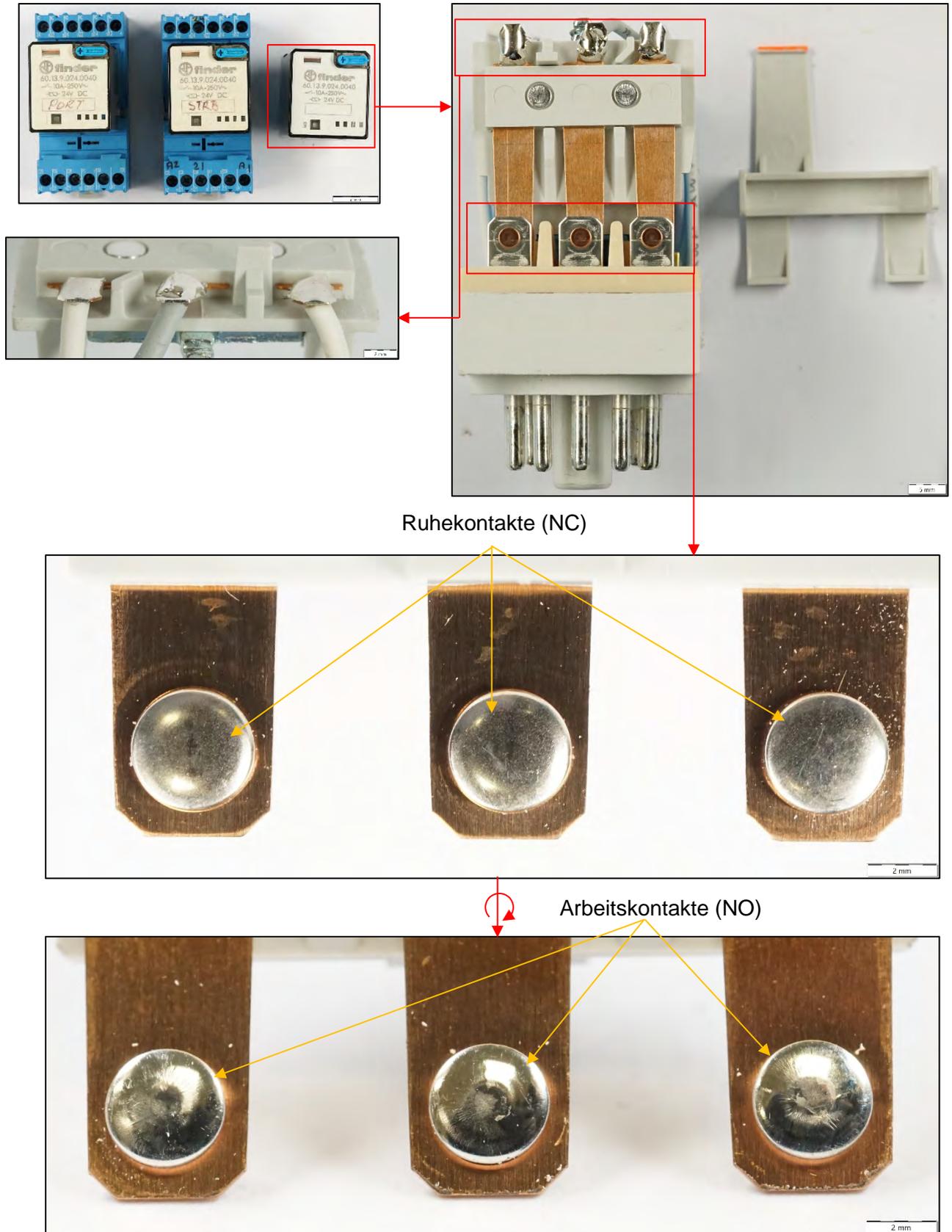


Bild 1.14 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ neues Vergleichsrelais



Bild 2.1 Beispiellegende

^{*1)} Erläuterungen zum Verfahren EDX-Analyse

Die EDX-Analyse (energiedispersive Elementanalyse) ist ein semiquantitatives Verfahren, welches neben einer Identifikation der vorhandenen Elemente eine überschlagsmäßige Quantifizierung der Bestandteile erlaubt. Die dabei erreichte Genauigkeit variiert in Abhängigkeit von den bestimmten Elementen (ihrer Ordnungszahl) und den Anteilen des einzelnen Elementes an der Gesamtmenge. So lassen sich leichte Elemente wie Kohlenstoff zwar nachweisen, der gemessene Elementgehalt ist jedoch mit einem hohen Fehler beaufschlagt. Außerdem liegen die Röntgenemissionslinien von Natrium und Zink energetisch so dicht beieinander, dass die Auflösung eines EDX-Spektrums nicht ausreicht, um geringe Gehalte der beiden Elemente nebeneinander verlässlich zu bestimmen. Vergleichbare Aussagen gelten, wenn gleichzeitig kleine Mengen Molybdän und Schwefel nebeneinander vorliegen. Die EDX-Analyse weist entsprechend nicht die Genauigkeit einer Spektralanalyse auf. Sie erlaubt es jedoch, übersichtsweise die chemische Zusammensetzung zu ermitteln, wobei Spurenelemente nicht bestimmt werden können.

Erläuterungen zur Darstellung der Spektren

Beispielspektrum

Element	Wt % ^{*2)}
C	3,82
O	2,62
Si	0,48
Mo	4,61
Cr	26,58
Fe	0,30
Co	61,58

^{*2)} Gewichtsprozent \triangleq Masseprozent; auf Wunsch können die Angaben auch in Atomprozent erfolgen.

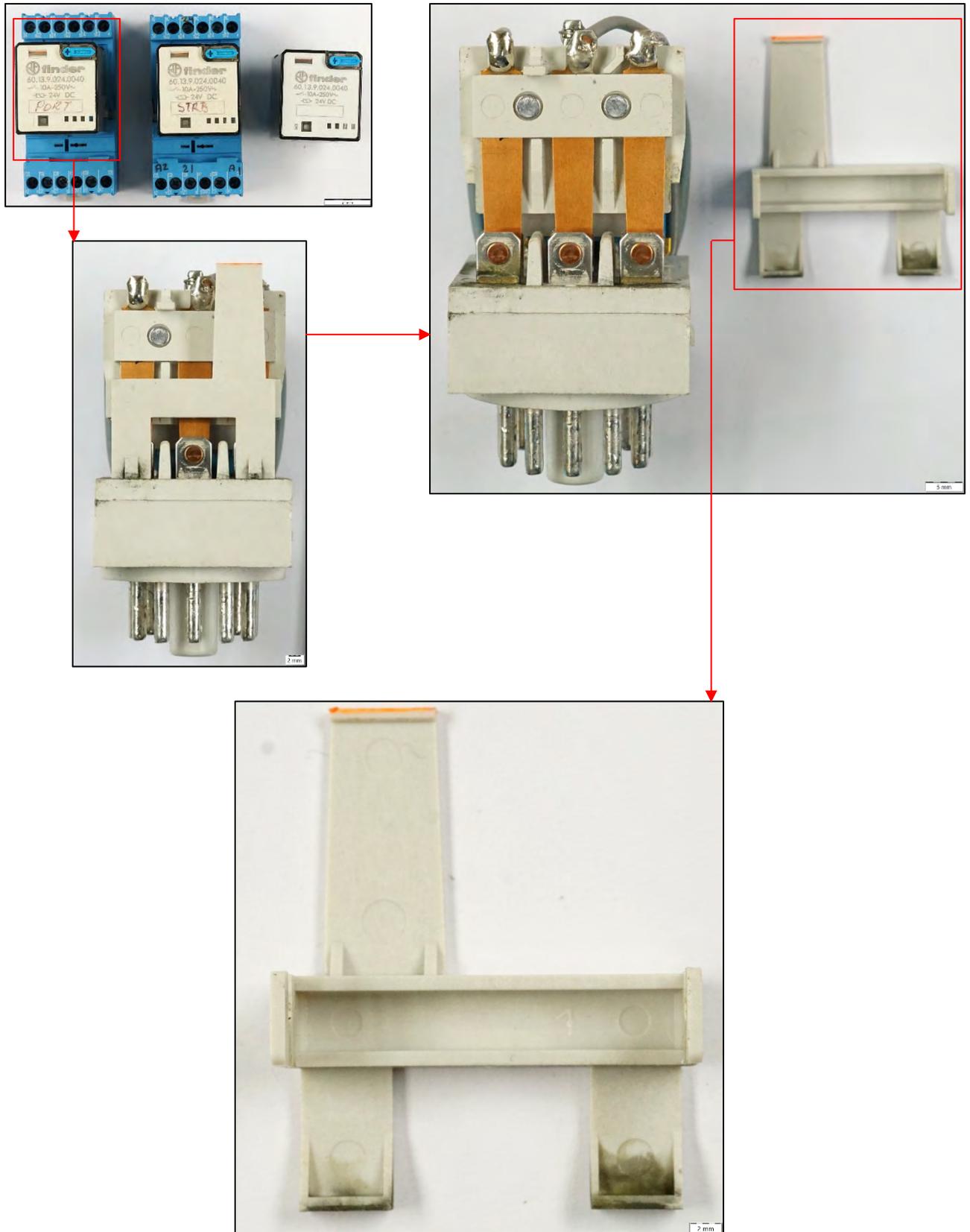
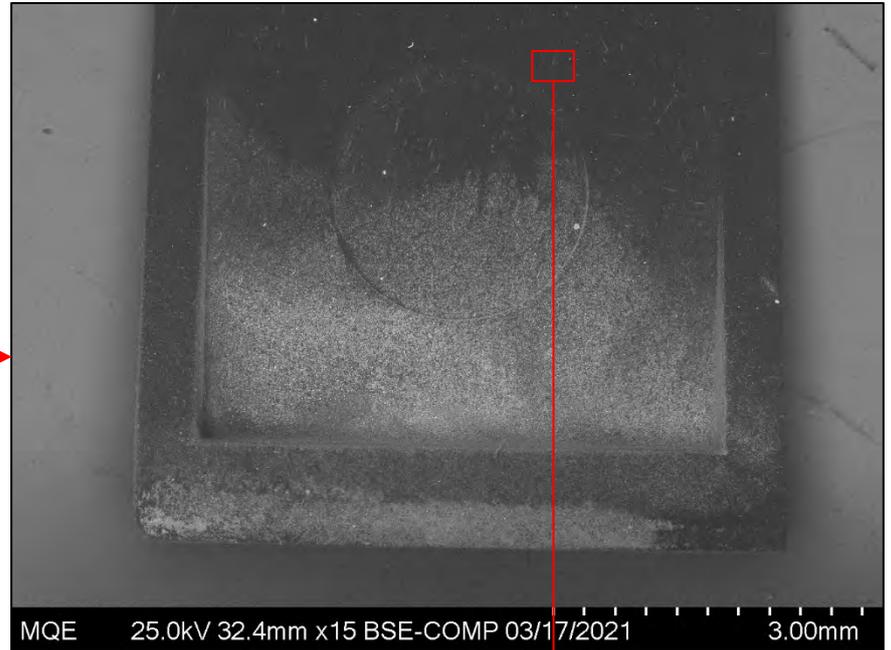
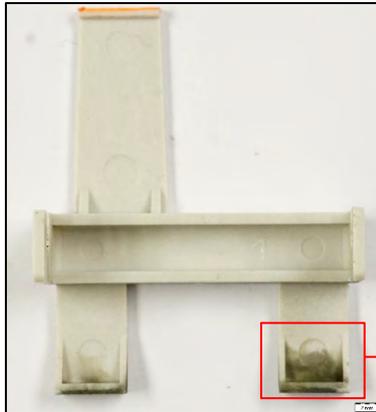
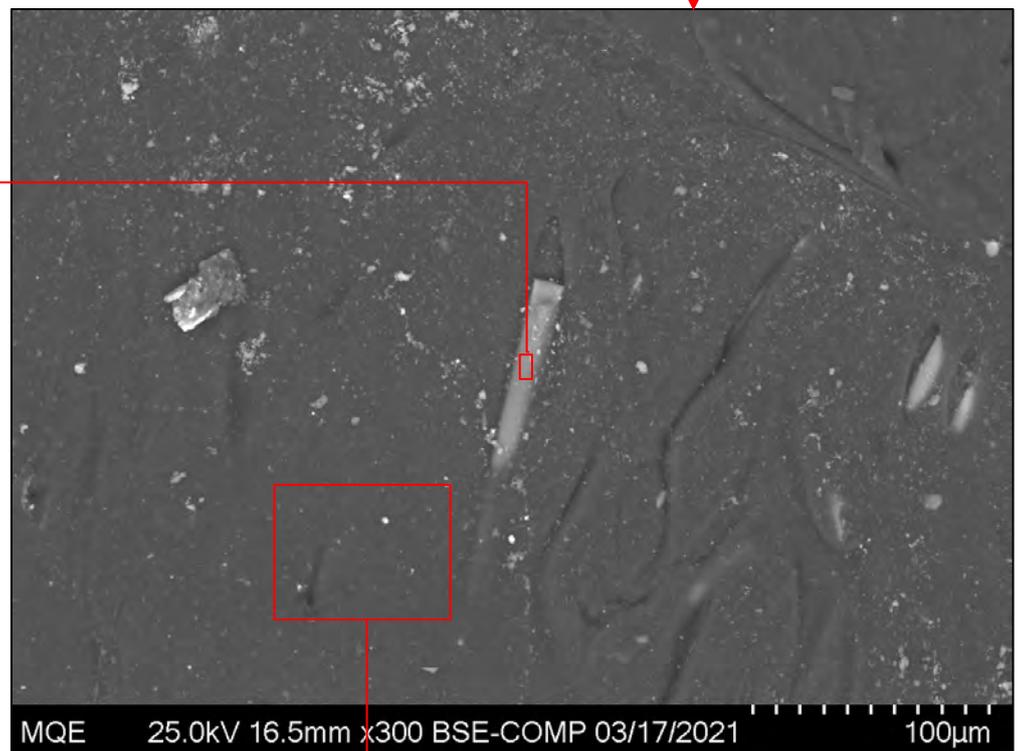


Bild 2.2 Schiffsojekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/
Schaltzustandsanzeige/ REM-Probe 1/ Probenentnahme



Spektrum 1

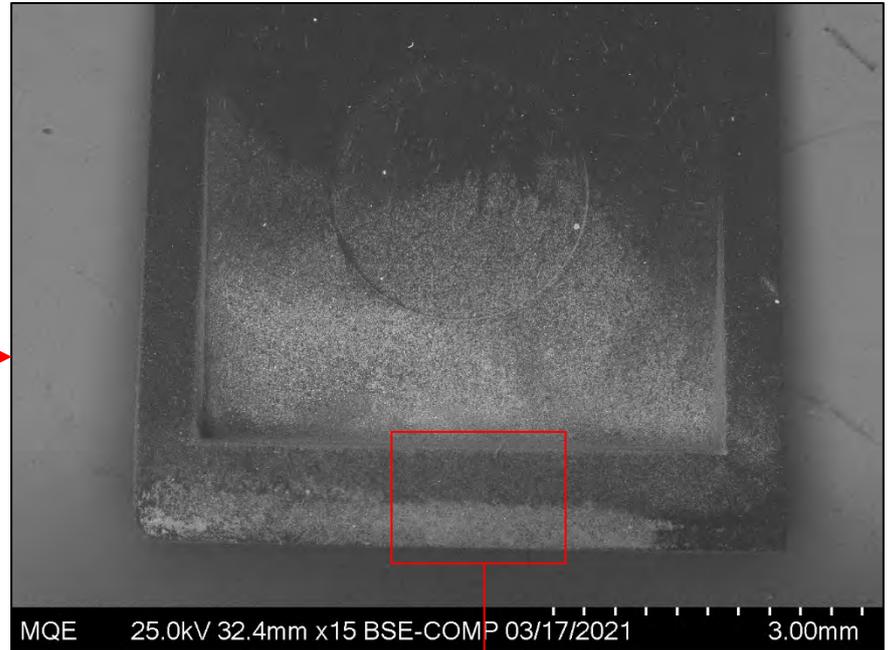
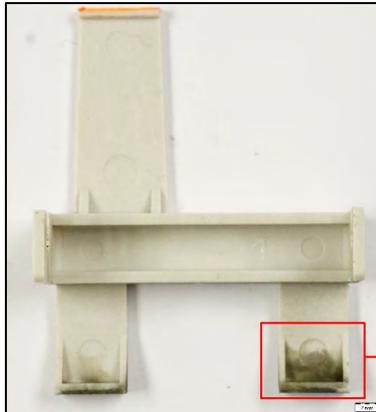
Element	Wt %
C	42,66
O	26,82
Na	0,01
Mg	1,00
Al	3,78
Si	14,07
S	0,20
K	0,21
Ca	9,77
Ti	0,06
Fe	0,21
Ni	0,14
Cu	0,35
Zn	0,72



Spektrum 2

Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %
C	80,24	Al	0,19	S	0,94	Cu	0,23
O	15,84	Si	0,21	Ca	0,20	Zn	1,77
Na	0,20	P	0,09	Fe	0,10		

Bild 2.3 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/ Schaltzustandsanzeige/ REM-Probe 1/ EDX-Analysen



Spektrum 3

Element	Wt %
C	60,34
O	23,60
Na	0,02
Mg	0,14
Al	0,77
Si	0,63
P	0,06
S	0,78
Cl	0,10
Sn	0,67
Ca	0,38
Fe	0,38
Ni	0,43
Cu	6,77
Zn	4,92



Spektrum 4

Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %
C	26,06	Al	2,42	Sn	2,45	Cu	24,61
O	20,53	Si	3,14	Ca	1,82	Zn	13,53
Na	1,29	S	0,67	Fe	0,89		
Mg	0,96	Ag	0,44	Ni	1,19		

Bild 2.4 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/ Schaltzustandsanzeige/ REM-Probe 1/ EDX-Analysen

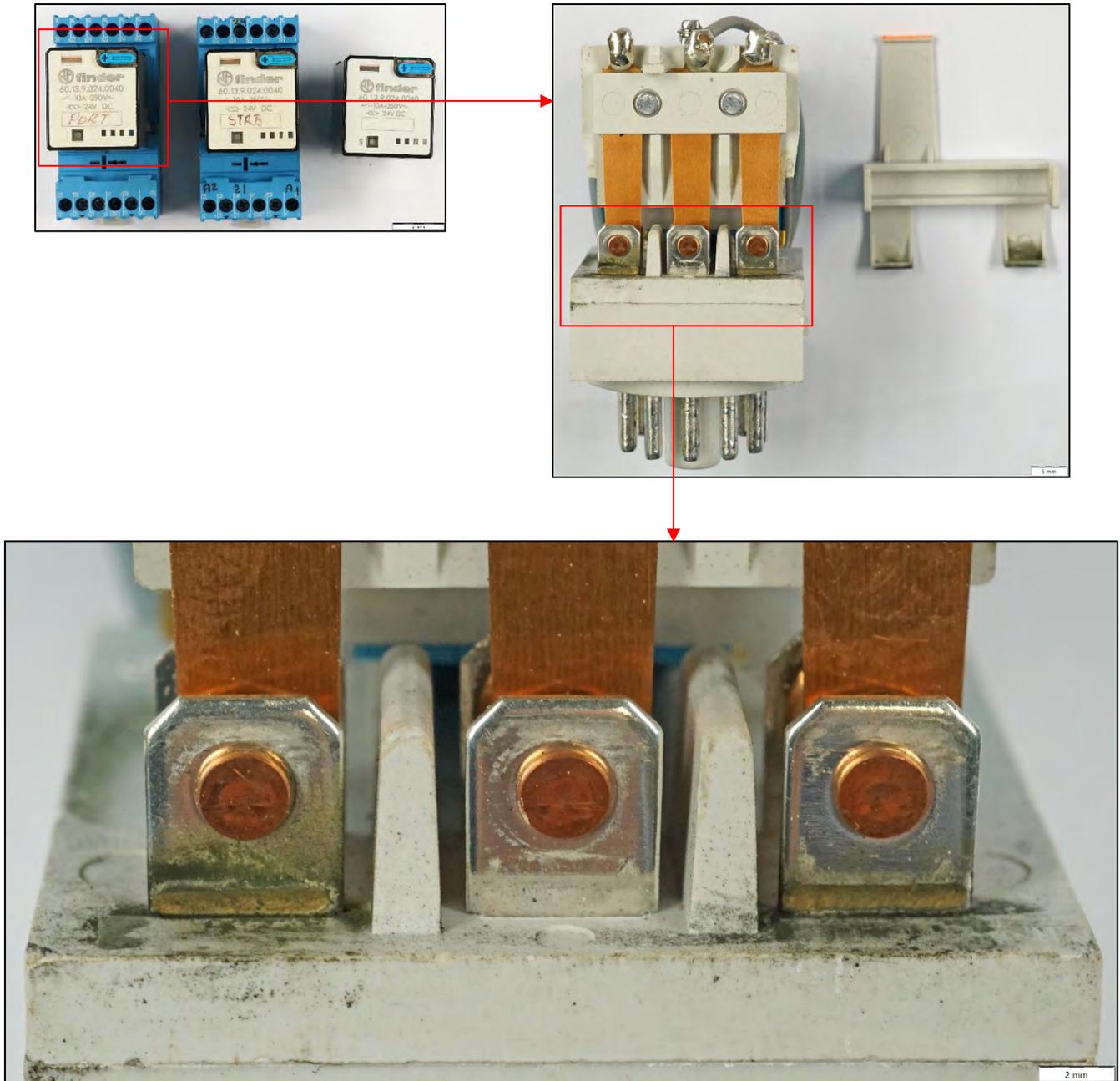
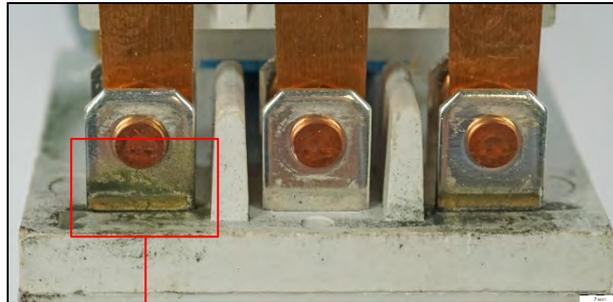
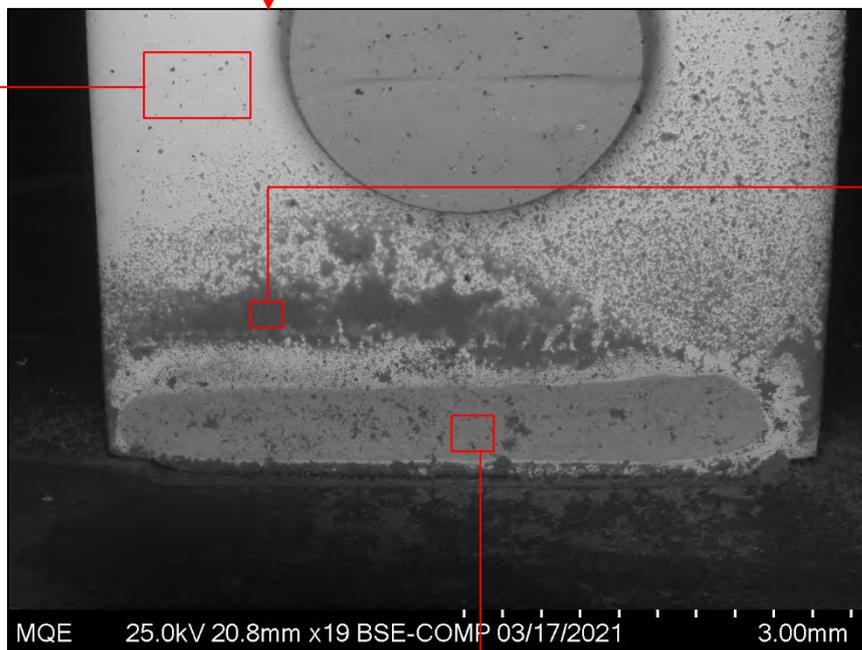


Bild 2.5 Schiffsojekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/
Abstüzung der Schaltzustandsanzeige/ REM-Probe 2/ Probenentnahme



Spektrum 5

Element	Wt %
C	3,30
O	3,67
Al	1,57
Si	0,37
S	0,25
Sn	83,20
Fe	0,73
Ni	3,37
Cu	2,51
Zn	1,03



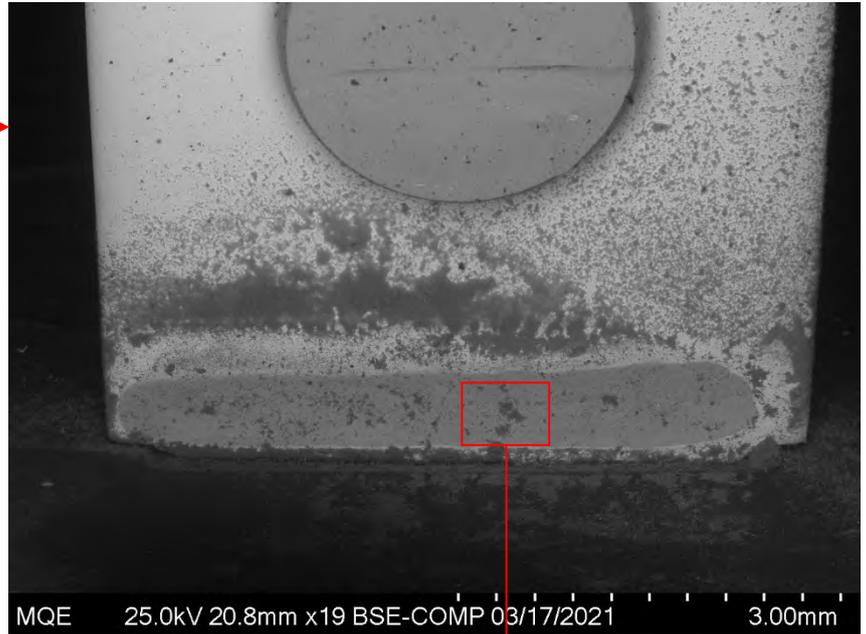
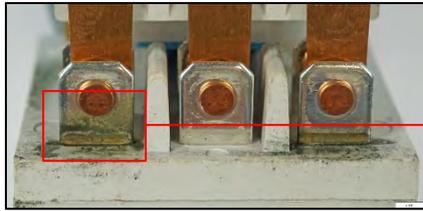
Spektrum 6

Element	Wt %
C	15,30
O	12,13
Na	1,41
Al	2,33
Si	0,34
S	0,54
Sn	14,62
Fe	0,55
Ni	1,97
Cu	32,95
Zn	17,86

Spektrum 7

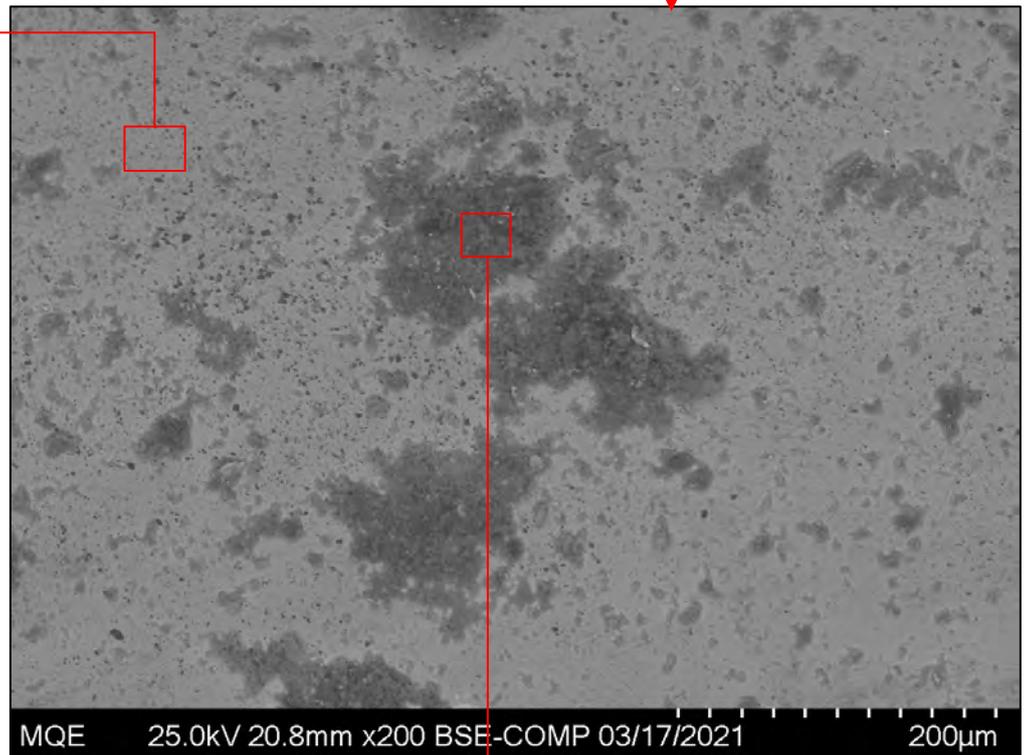
Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %
C	14,92	Al	2,72	Sn	1,51	Ni	0,85
O	10,99	Si	0,61	Ca	1,06	Cu	42,40
Na	1,06	S	0,35	Fe	0,43	Zn	23,08

Bild 2.6 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/ Abstüzung der Schaltzustandsanzeige/ REM-Probe 2/ EDX-Analysen



Spektrum 8

Element	Wt %
C	13,36
O	9,49
Na	1,32
Mg	0,58
Al	2,71
Si	0,55
S	0,33
Sn	1,26
Ca	0,89
Fe	0,74
Ni	1,19
Cu	43,67
Zn	23,91



Spektrum 9

Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %
C	12,72	Al	2,19	Sn	5,26	Cu	41,56
O	9,79	Si	0,45	Ca	1,08	Zn	22,39
Na	1,15	S	0,53	Fe	0,49		
Mg	0,51	Ag	0,32	Ni	1,56		

Bild 2.7 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/ Abstützung der Schaltzustandsanzeige/ REM-Probe 2/ EDX-Analysen

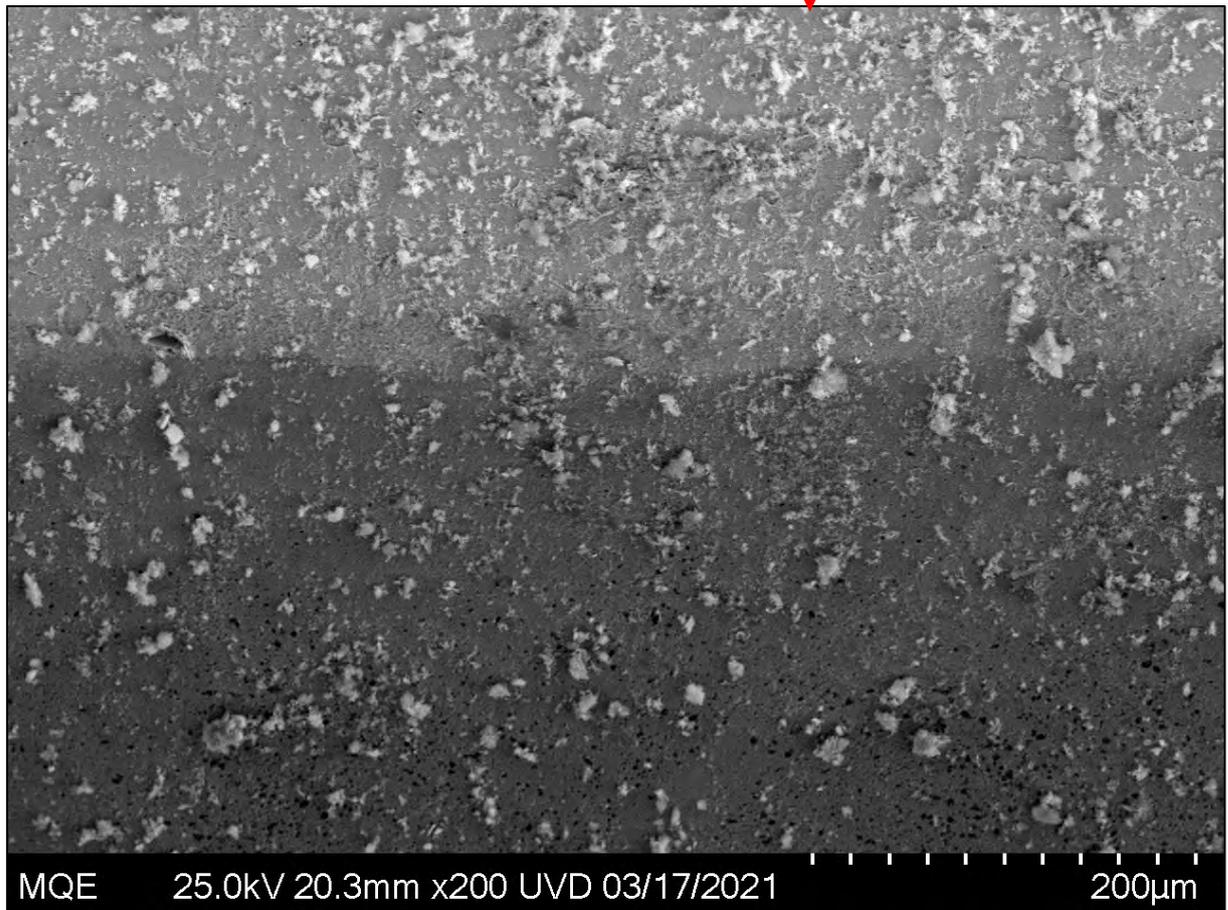
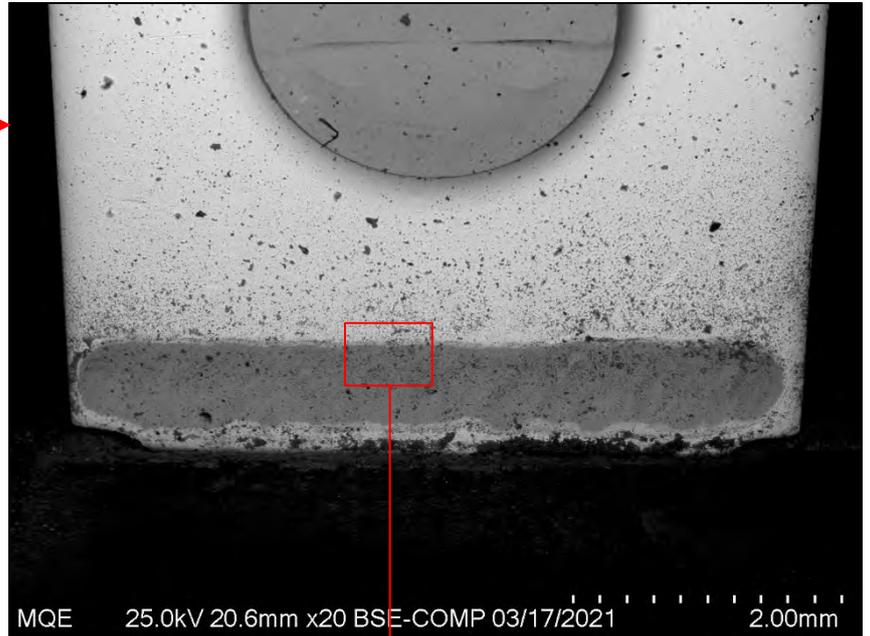
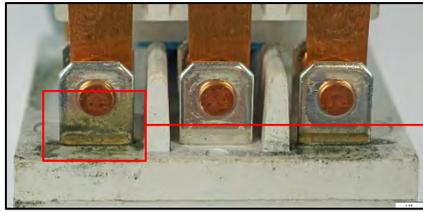


Bild 2.8 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/
Abstützung der Schaltzustandsanzeige/ REM-Probe 2/ EDX-Analysen

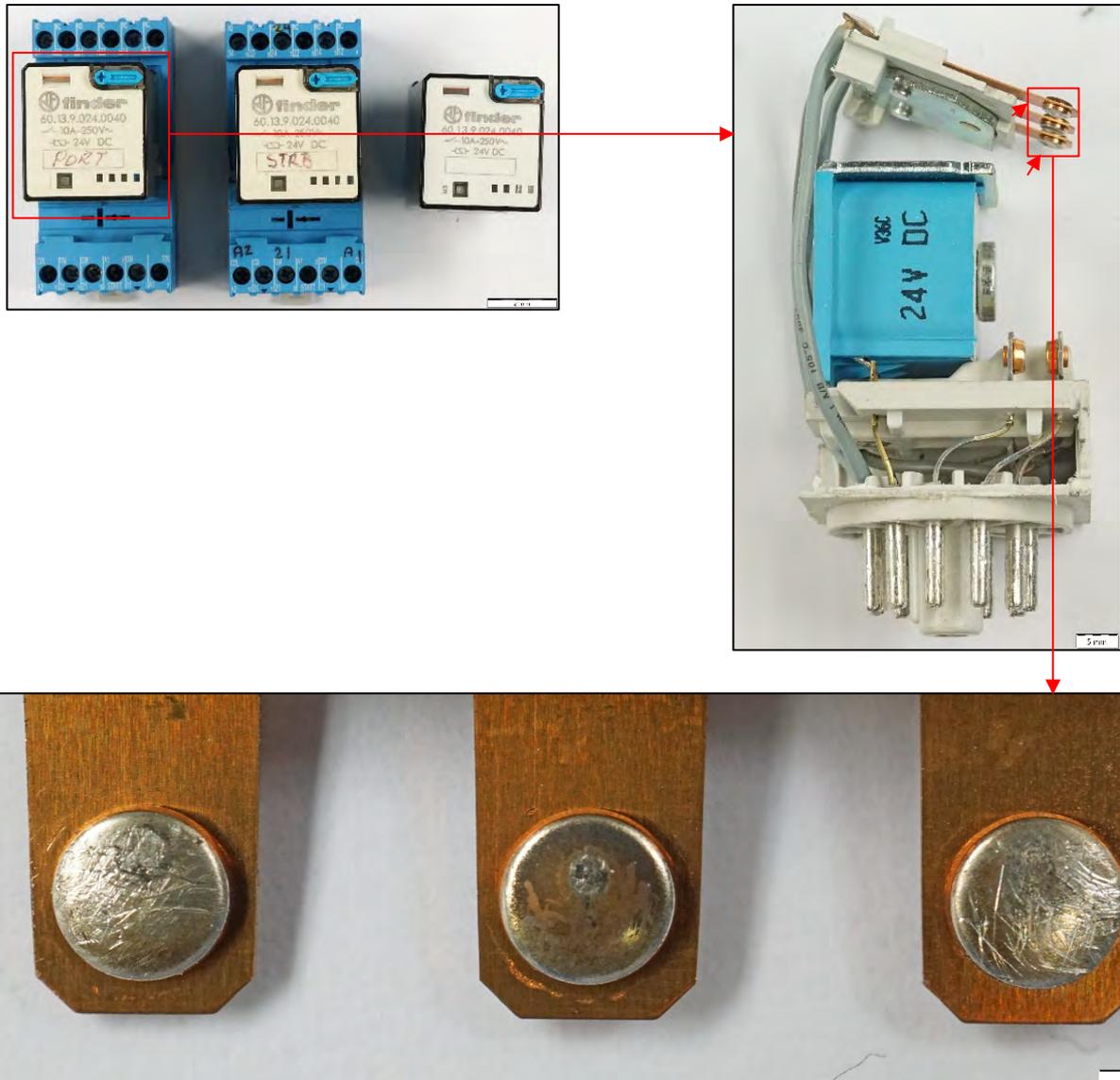


Bild 2.9 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/
Arbeitskontakte/ REM-Probe 3

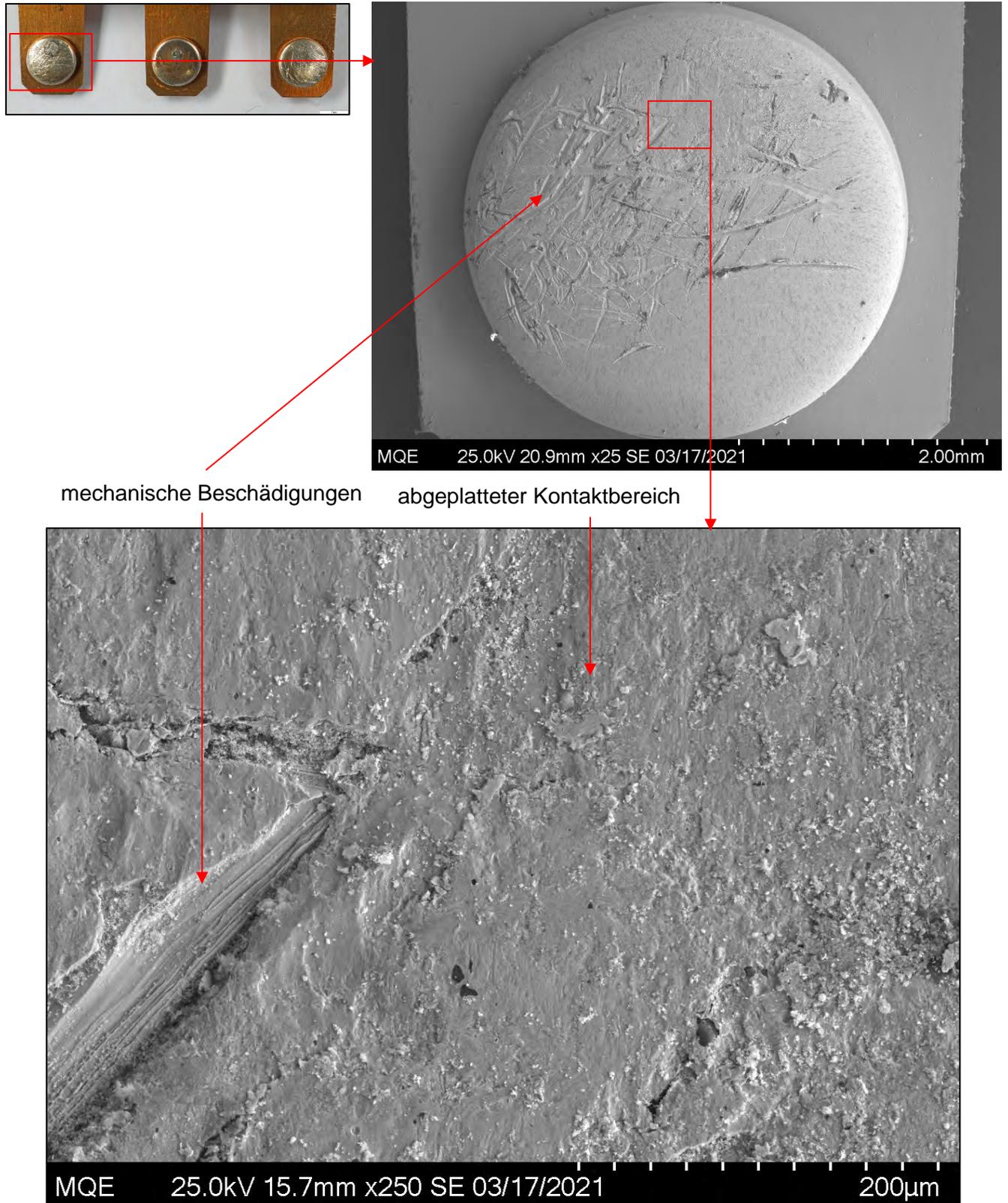
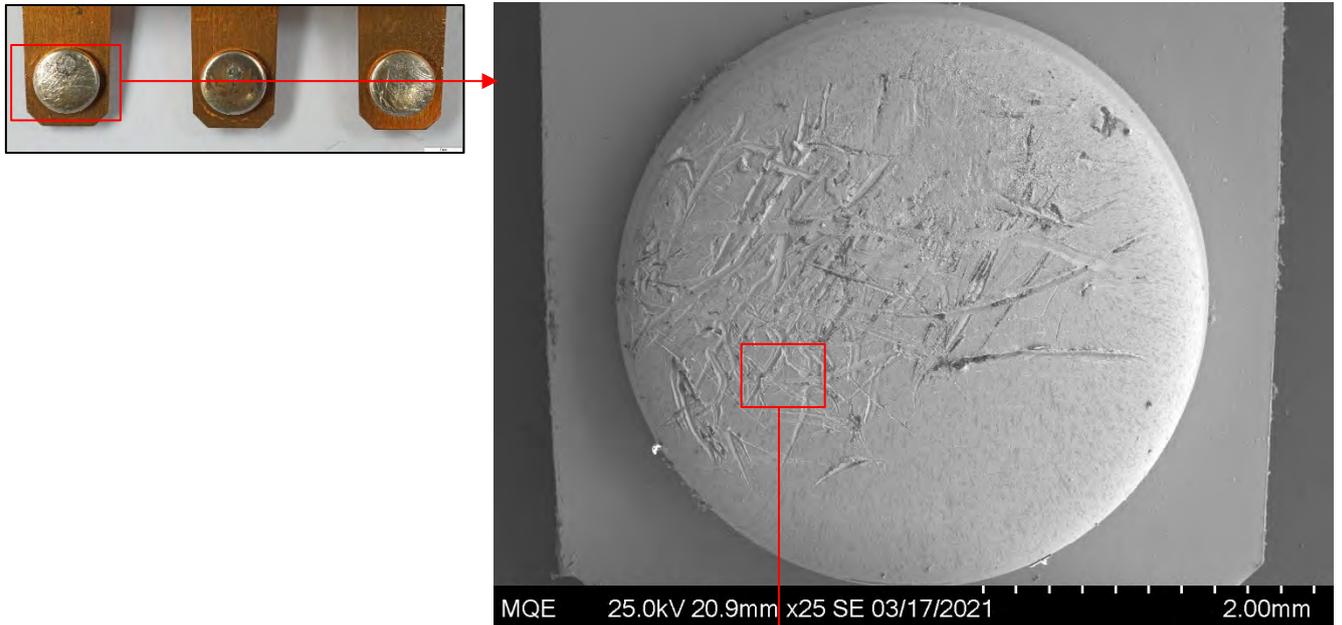
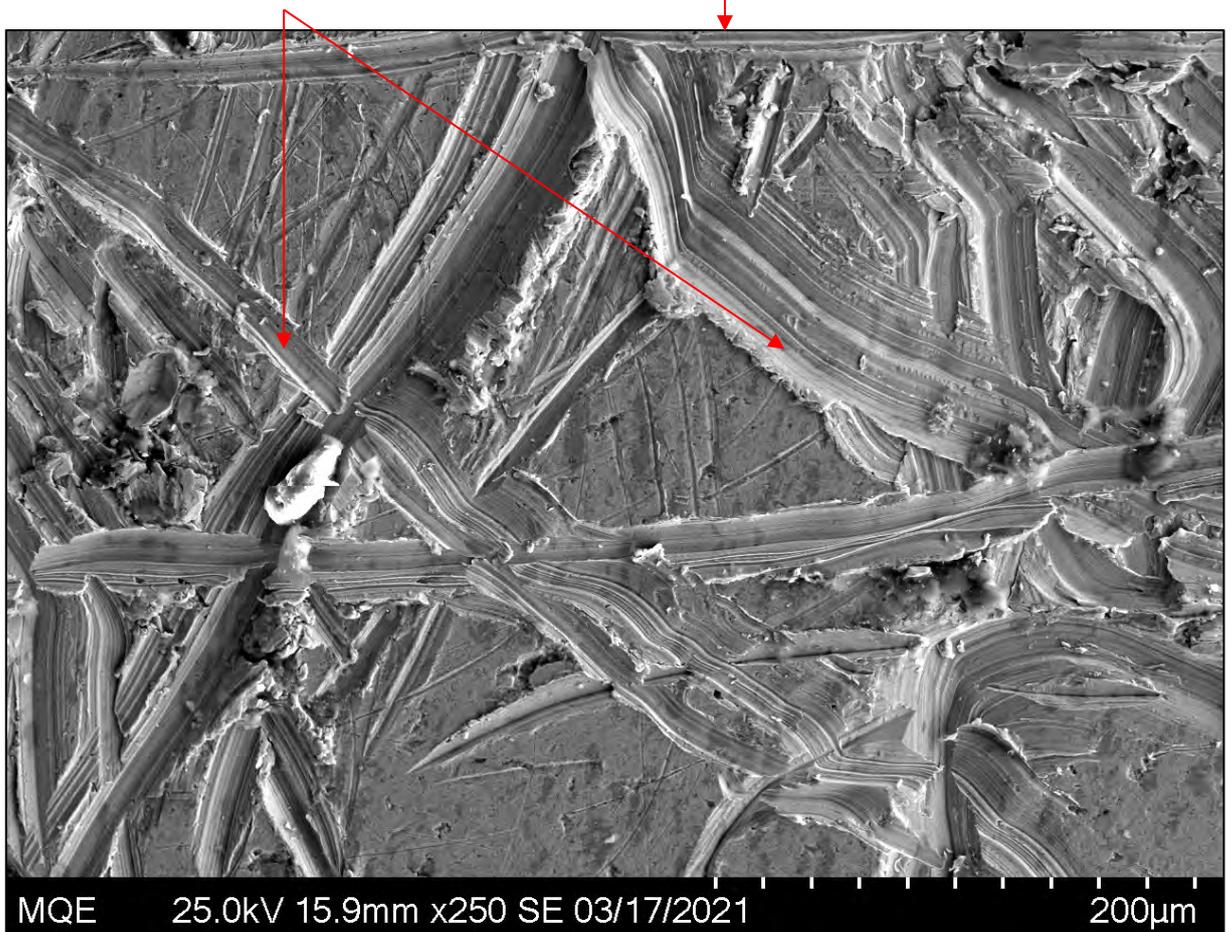


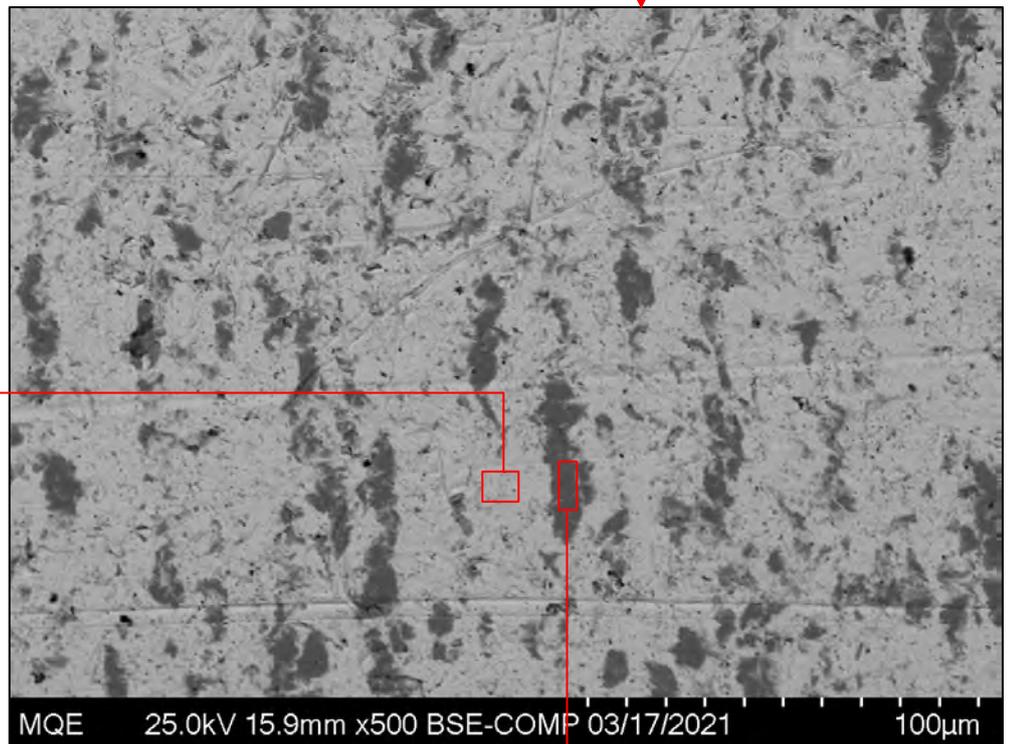
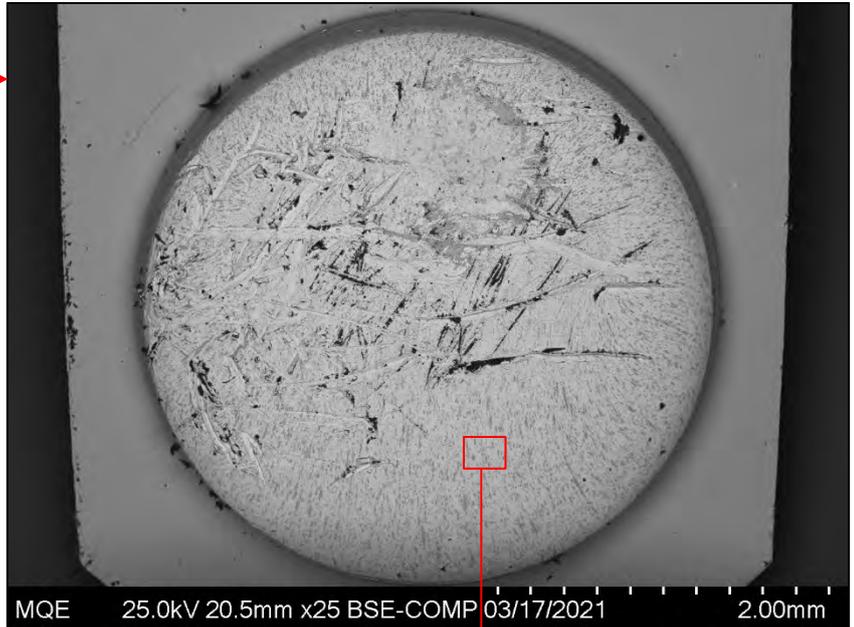
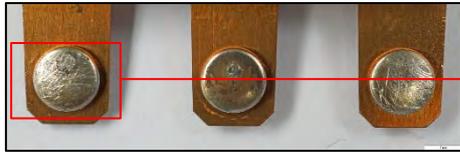
Bild 2.10 Schiffsojekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/
Arbeitskontakte/ REM-Probe 3



mechanische Beschädigungen



**Bild 2.11 Schiffsojekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/
Arbeitskontakte/ REM-Probe 3**



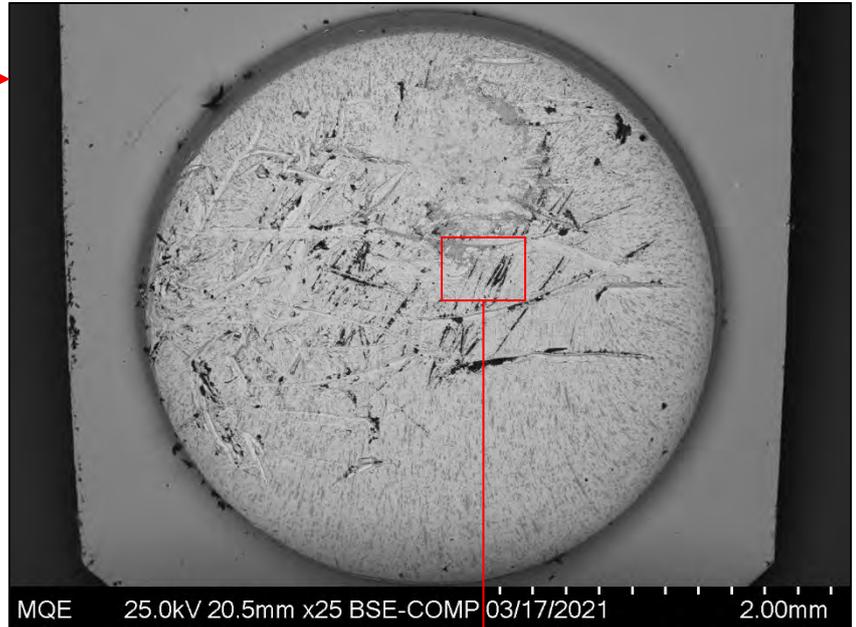
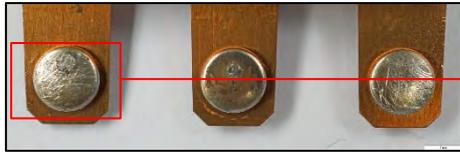
Spektrum 10

Element	Wt %
C	1,20
O	1,50
Mg	0,67
Al	0,99
S	0,23
Cl	0,46
Ag	92,05
Ni	2,91

Spektrum 11

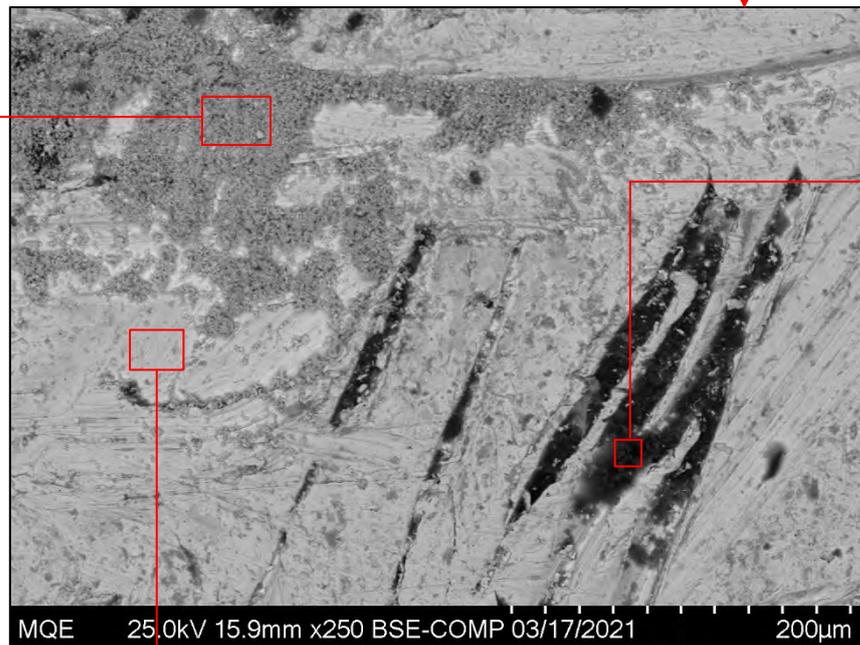
Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %
C	3,04	S	0,19	Ni	93,86
O	0,32	Ag	1,58		
Al	0,72	Fe	0,29		

Bild 2.12 Schiffsojekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/ Arbeitskontakte/ REM-Probe 3



Spektrum 12

Element	Wt %
C	2,95
O	4,63
Mg	0,35
Al	0,68
Si	0,31
S	0,25
Ag	76,34
Fe	0,54
Ni	13,94



Spektrum 13

Element	Wt %
C	26,56
O	26,28
Mg	0,32
Al	0,52
Si	0,84
S	0,22
Cl	0,16
Ag	12,85
Ca	28,75
Fe	0,27
Ni	3,24

Spektrum 14

Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %
C	1,26	Al	0,65	Ag	86,23
O	1,70	Si	0,30	Fe	0,33
Mg	0,41	Cl	0,40	Ni	8,72

Bild 2.13 Schiffsojekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/ Arbeitskontakte/ REM-Probe 3

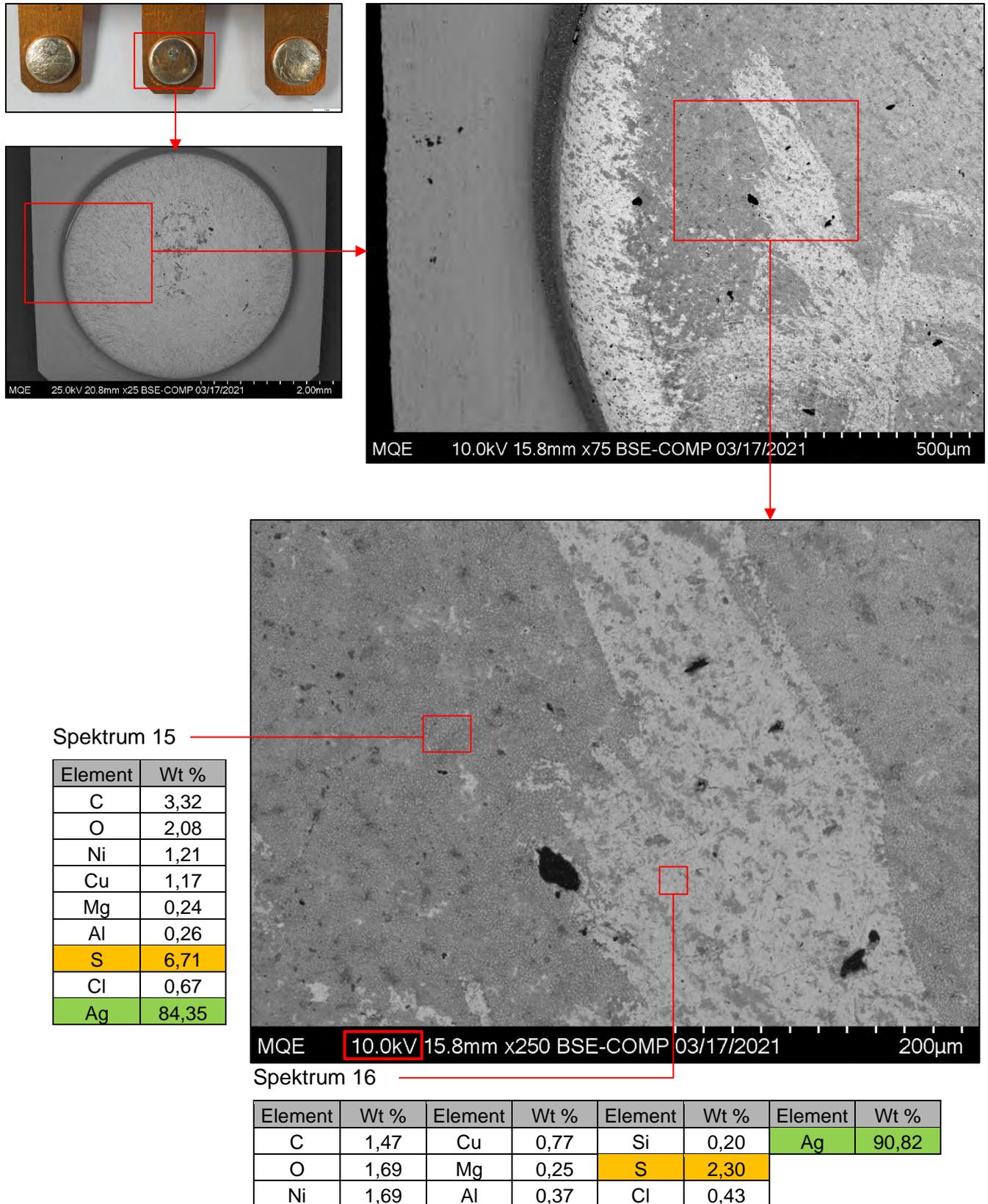
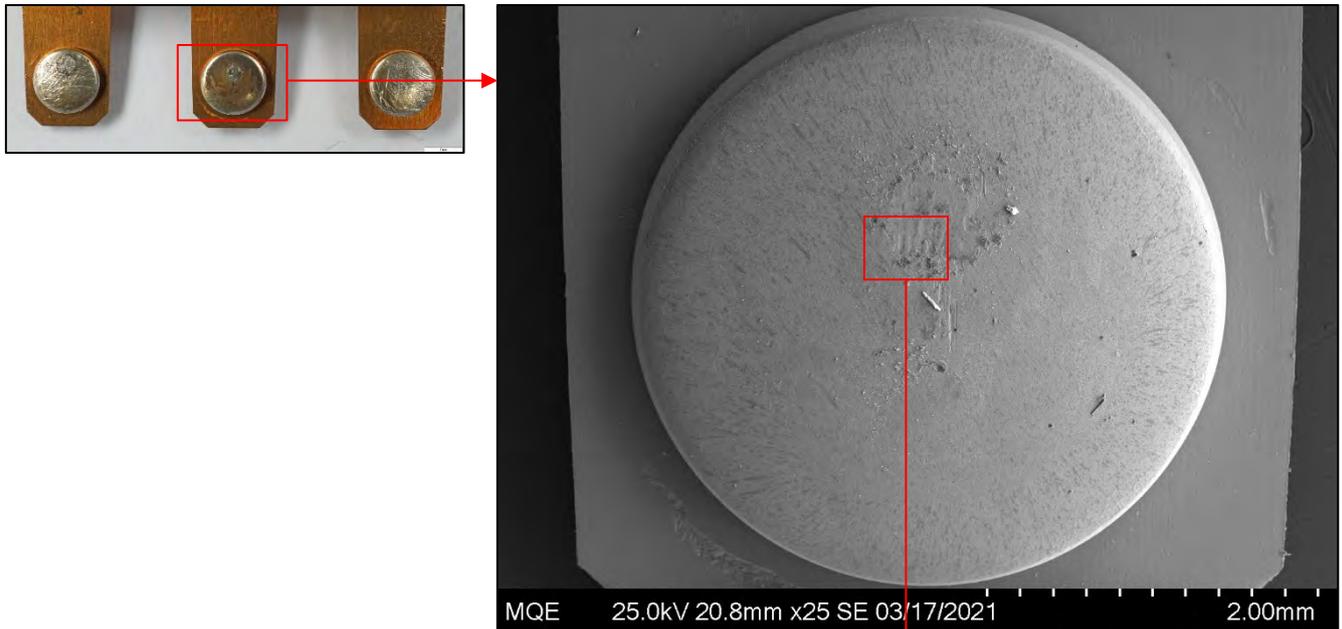
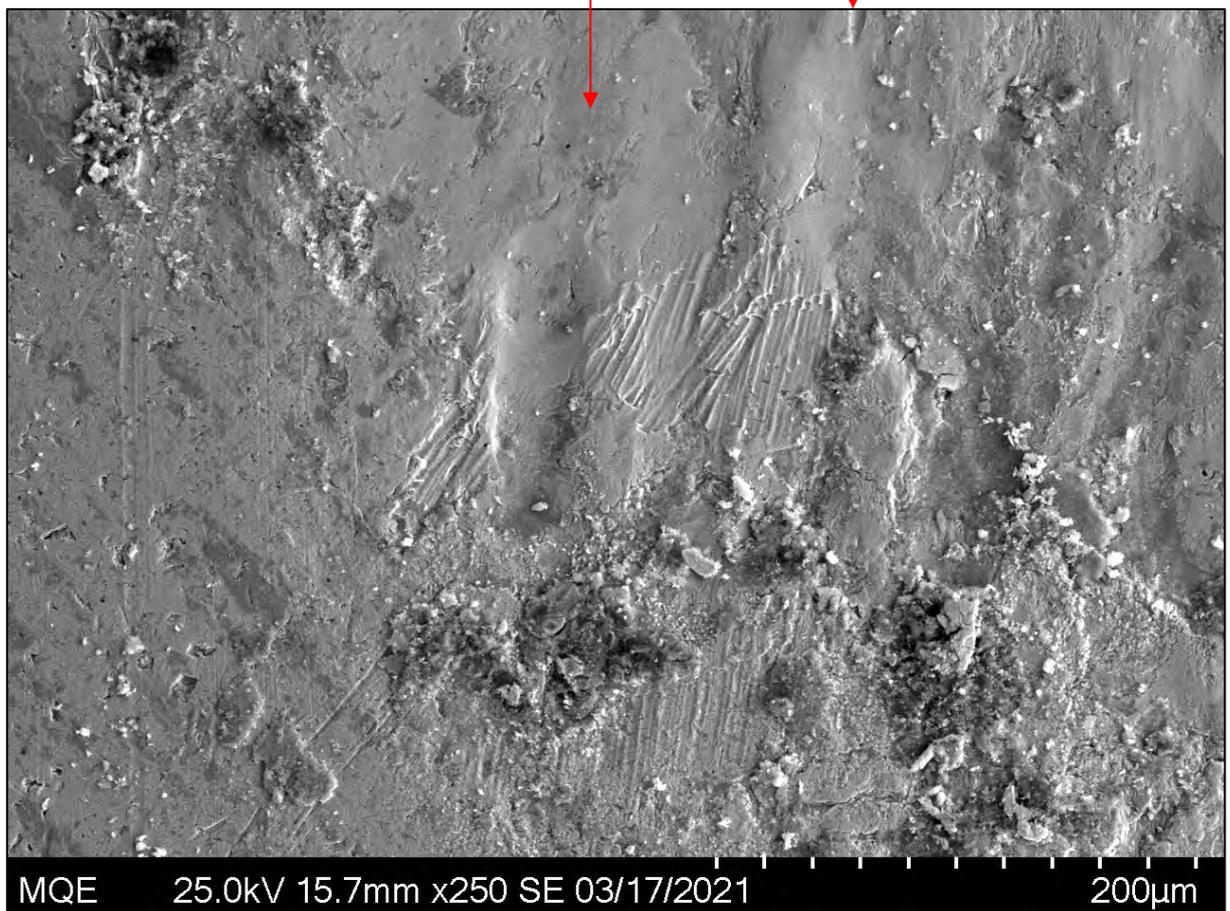


Bild 2.14 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/ Arbeitskontakte/ REM-Probe 3



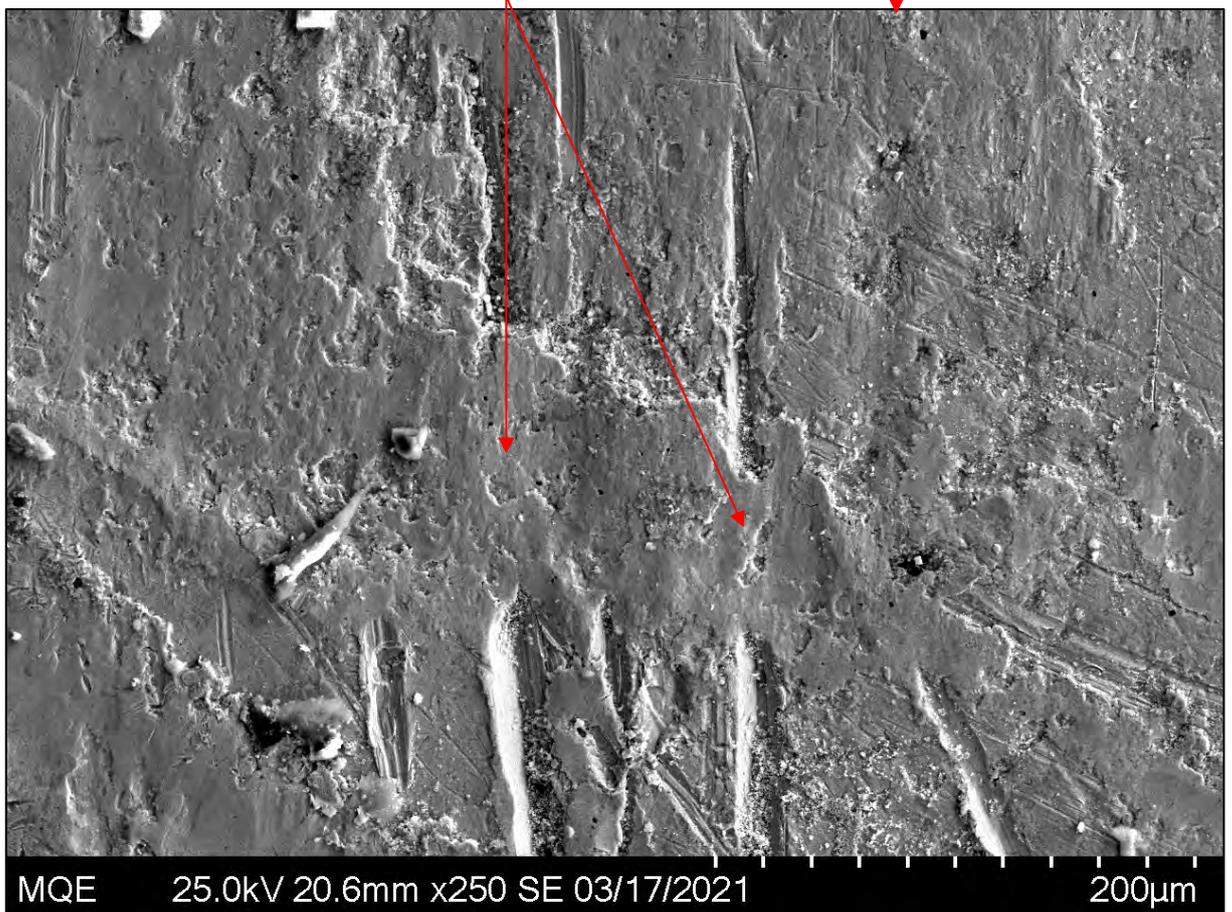
abgeplatteter Kontaktbereich



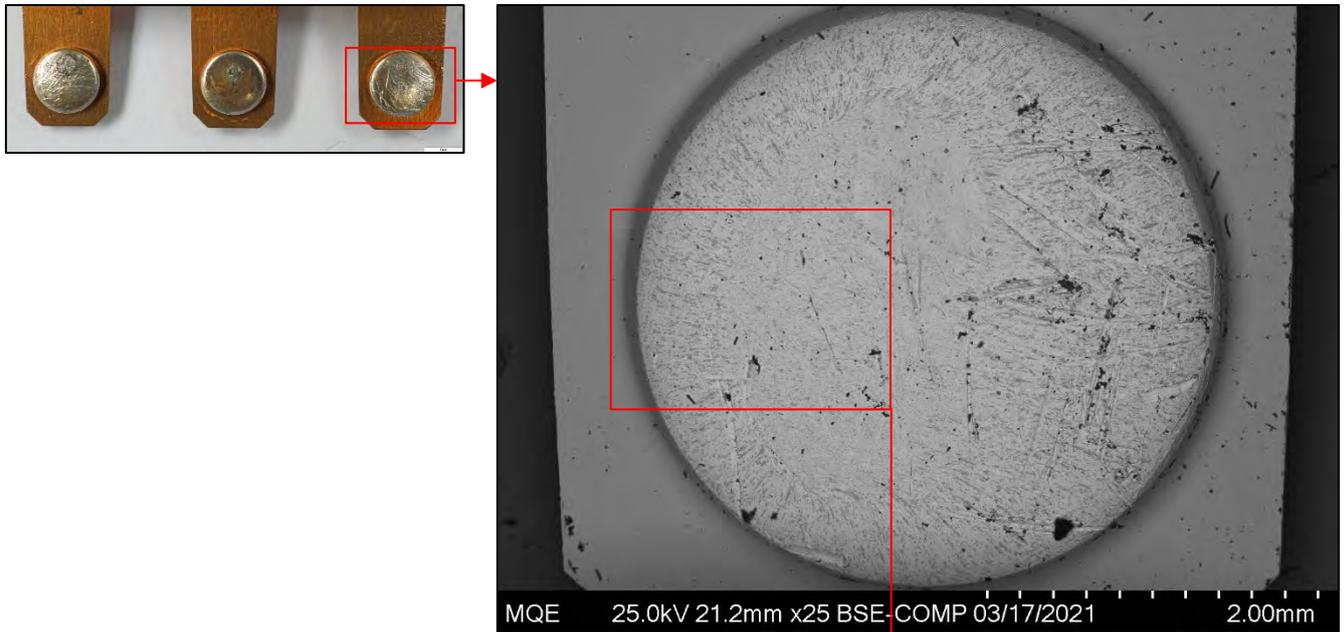
**Bild 2.15 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/
Arbeitskontakte/ REM-Probe 3**



mechanische Beschädigung lokal abgeplattet



**Bild 2.16 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/
Arbeitskontakte/ REM-Probe 3**



mechanische Beschädigungen

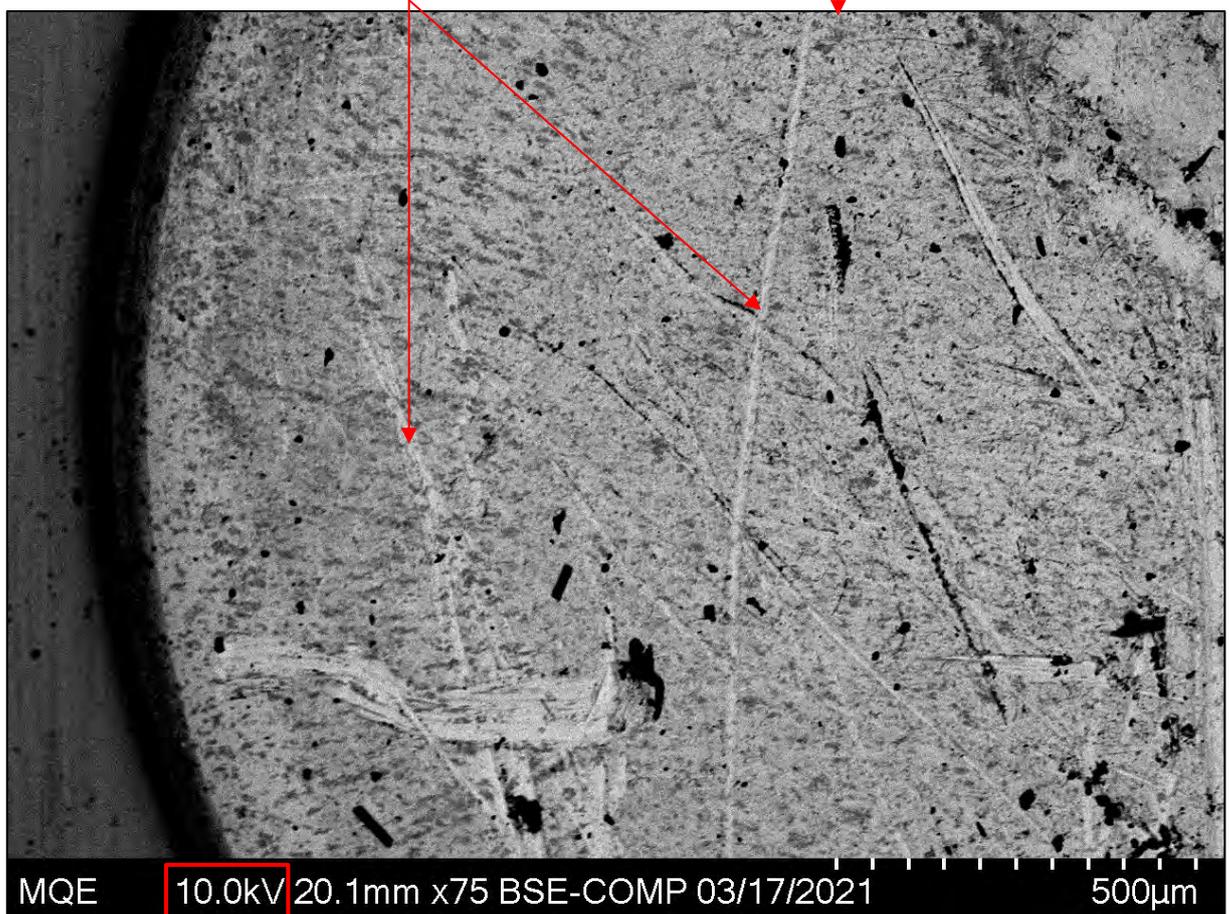
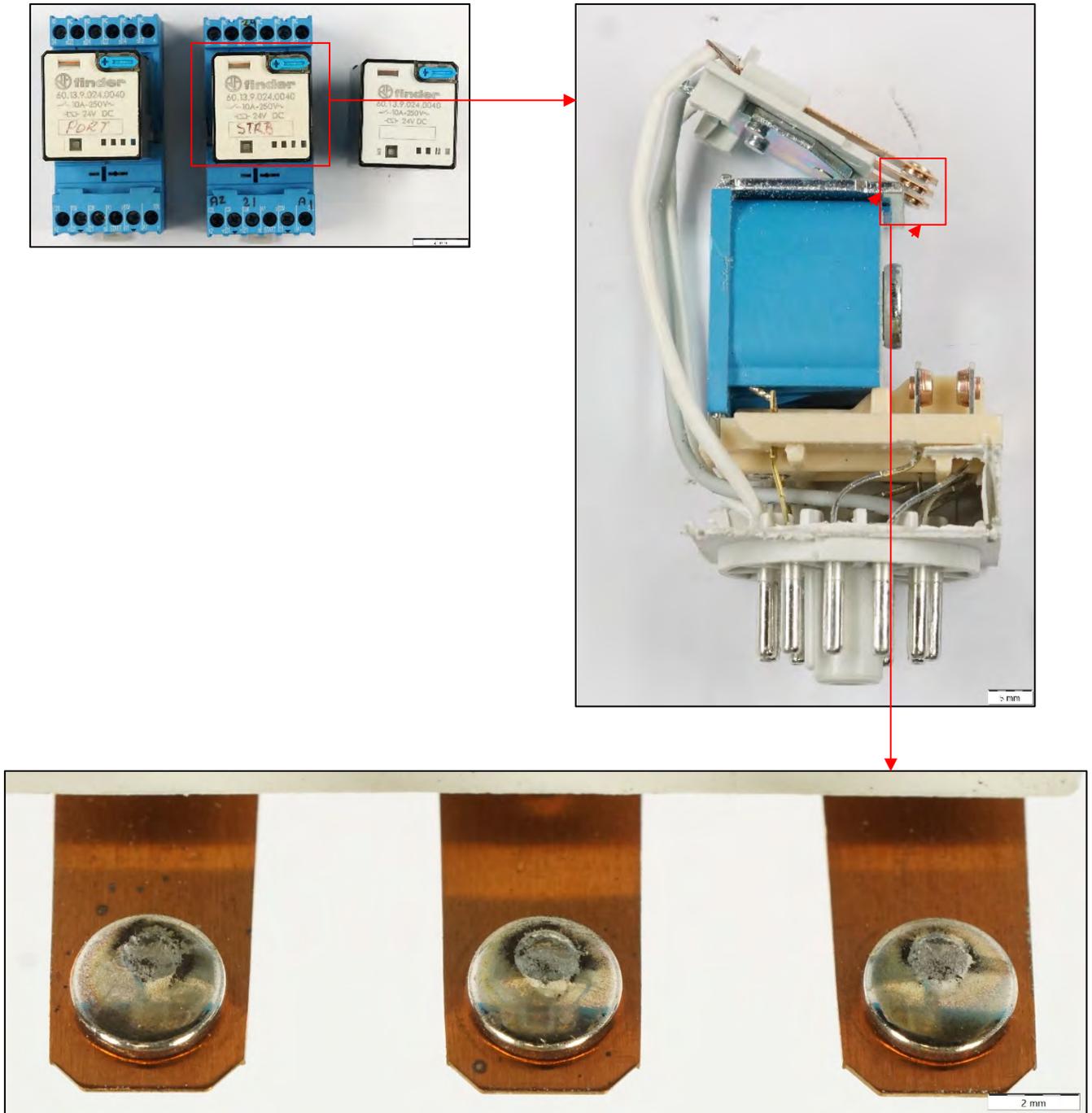


Bild 2.17 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Backbord/
Arbeitskontakte/ REM-Probe 3

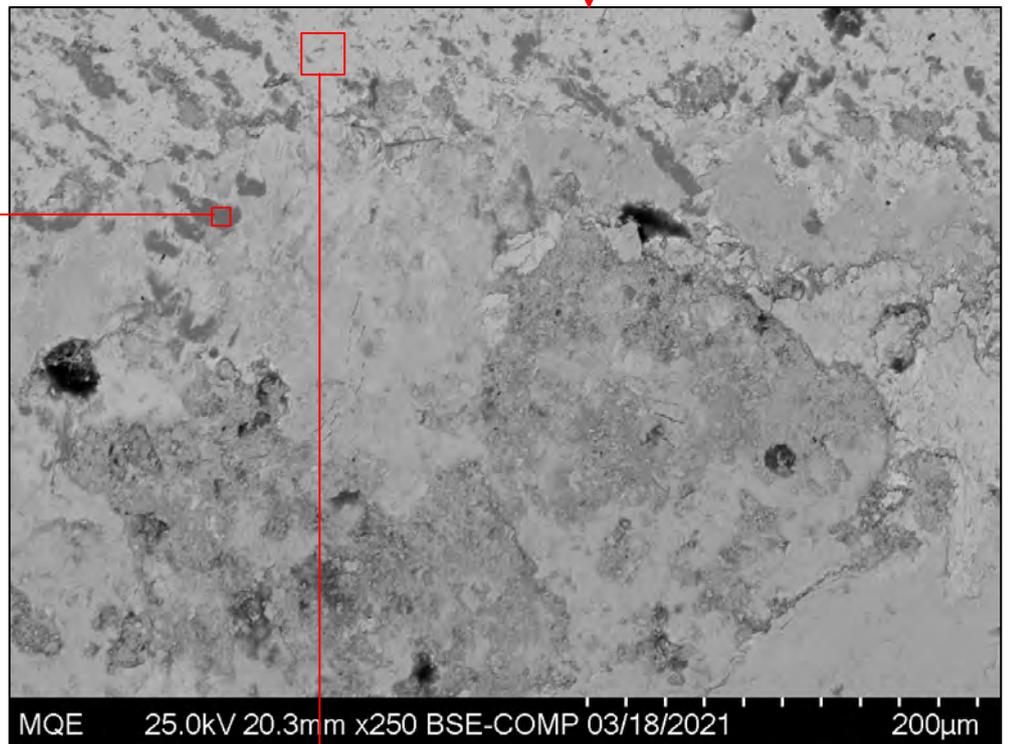


**Bild 2.18 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Steuerbord/
Arbeitskontakte/ REM-Probe 4**



Spektrum 17

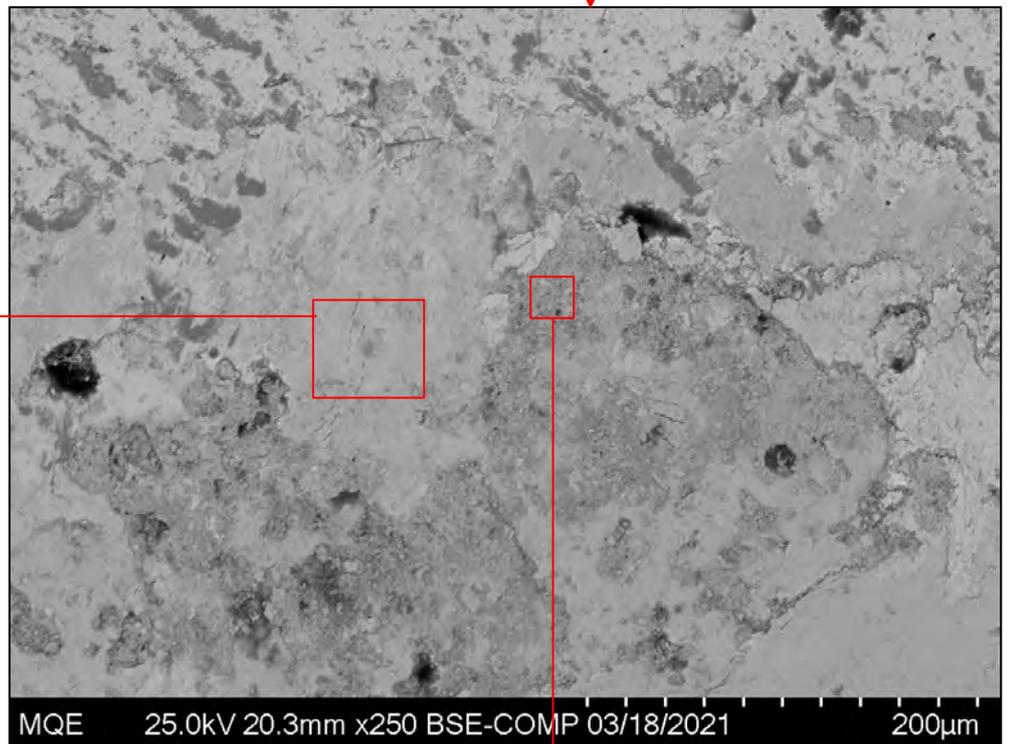
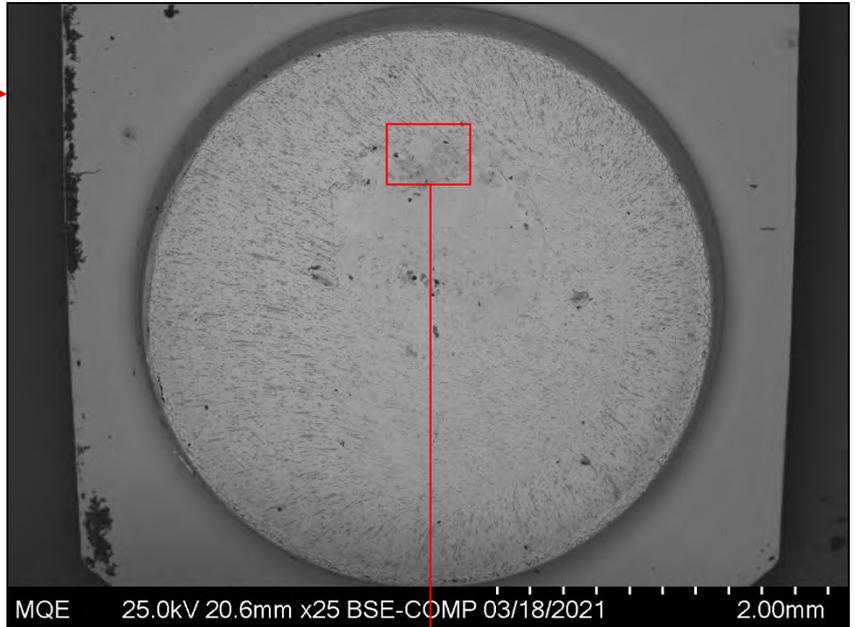
Element	Wt %
C	2,25
O	1,54
Mg	0,24
Al	0,39
Si	0,17
Cl	0,25
Ag	32,98
Fe	0,57
Ni	61,61



Spektrum 18

Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %
C	2,09	Al	0,66	Ag	87,28	Cu	0,94
O	2,02	Si	0,42	Fe	0,45		
Mg	0,54	S	0,44	Ni	5,16		

Bild 2.19 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Steuerbord/ Arbeitskontakte/ REM-Probe 4



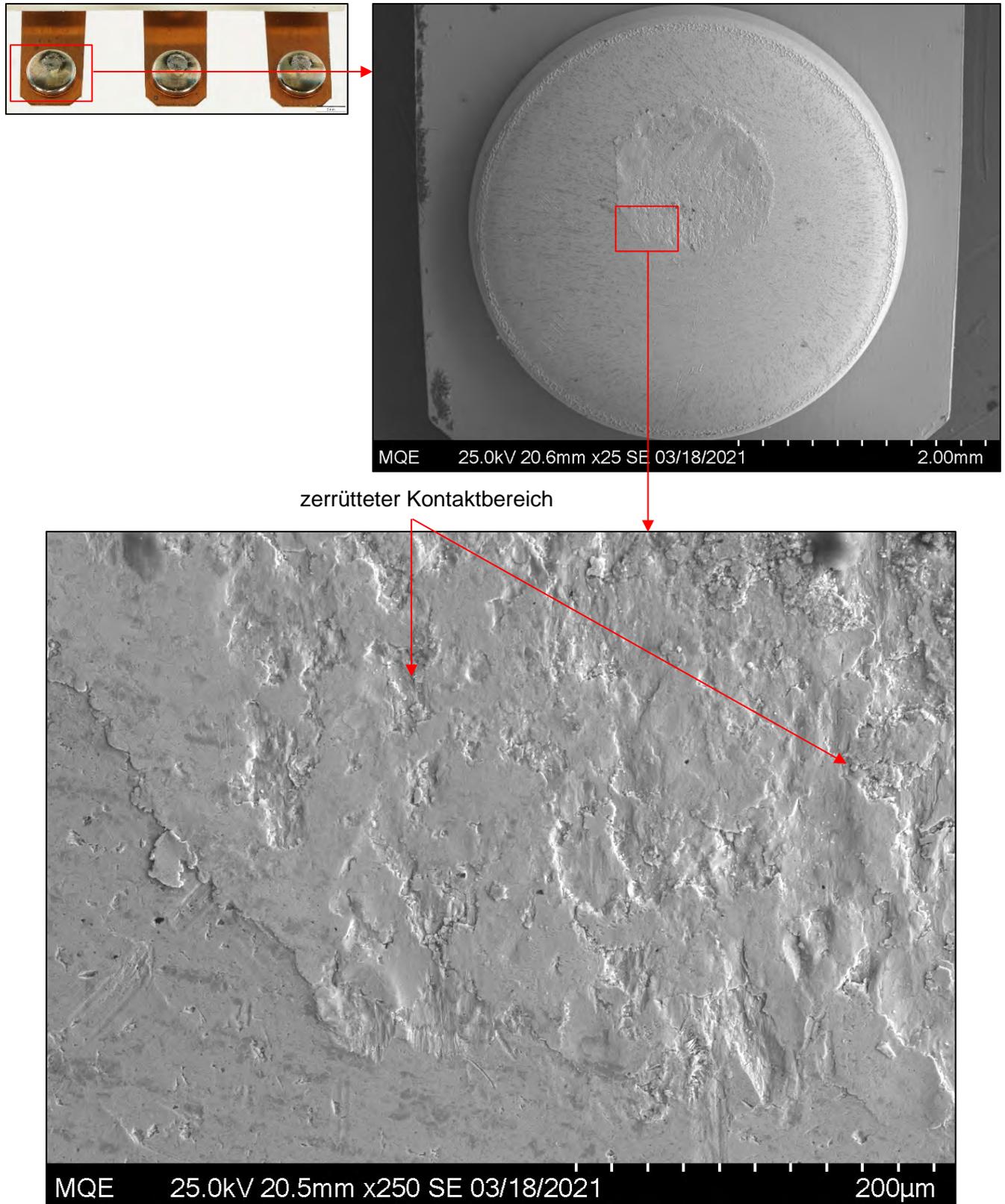
Spektrum 19

Element	Wt %
C	2,46
O	4,84
Mg	0,60
Al	0,50
Si	0,23
S	0,29
Cl	0,34
Ag	79,43
Fe	1,38
Ni	9,94

Spektrum 20

Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %
C	3,28	Al	0,85	Cl	0,31	Ni	15,68
O	7,20	Si	0,17	Ag	70,66		
Mg	0,40	S	0,87	Fe	0,58		

Bild 2.20 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Steuerbord/ Arbeitskontakte/ REM-Probe 4



**Bild 2.21 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Steuerbord/
Arbeitskontakte/ REM-Probe 4**



zerrütteter Kontaktbereich

abgeplatteter Kontaktbereich

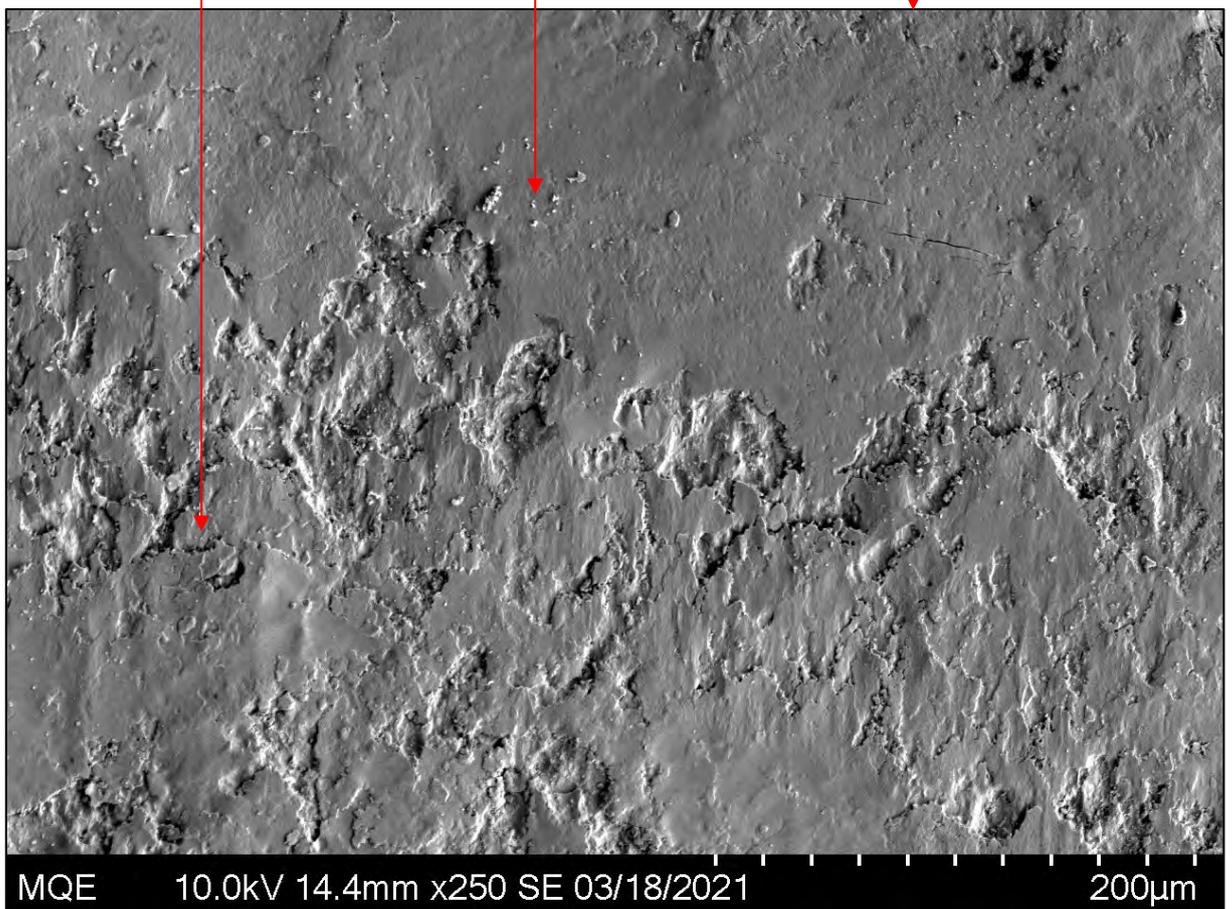
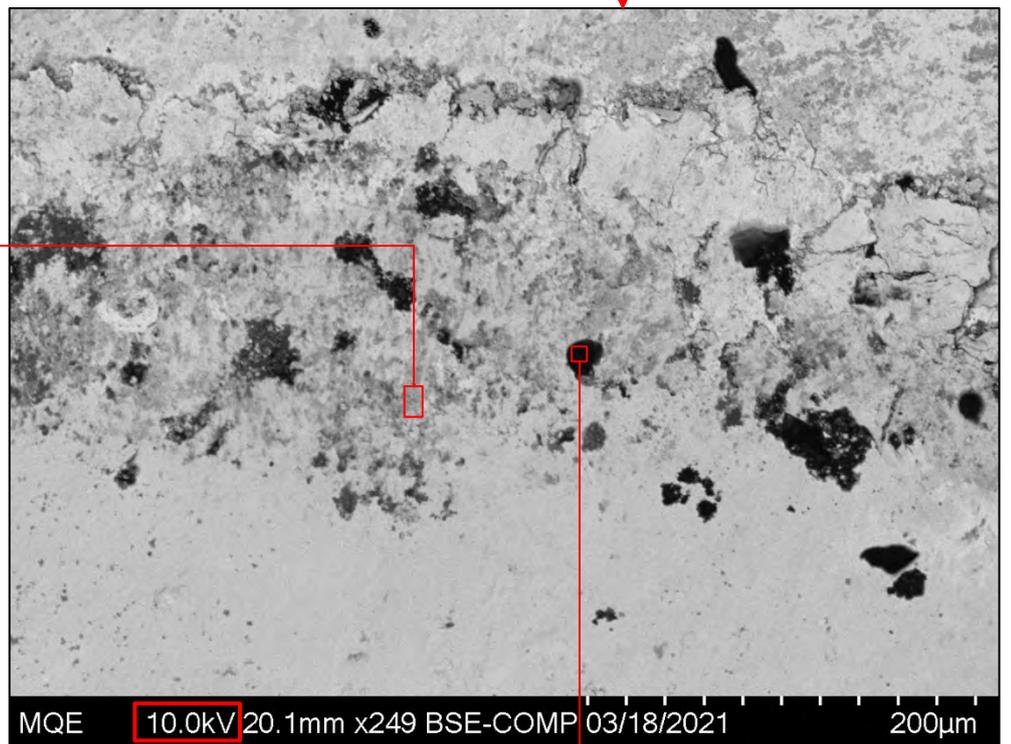
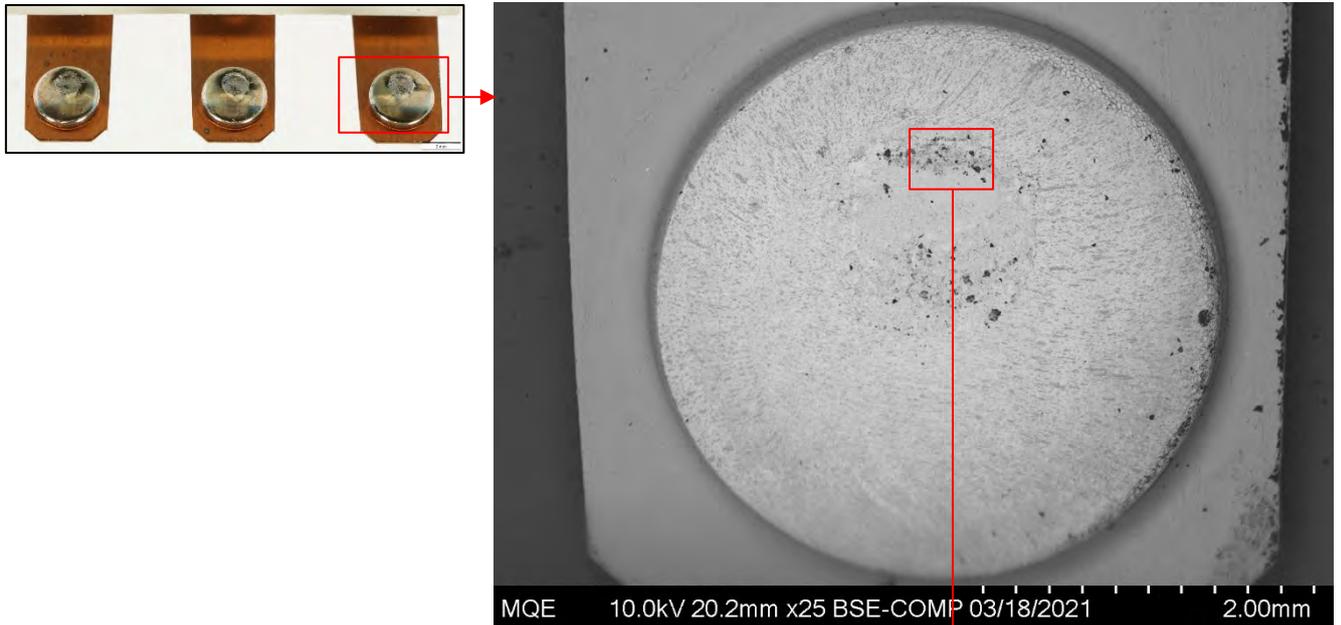


Bild 2.22 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Steuerbord/ Arbeitskontakte/ REM-Probe 4



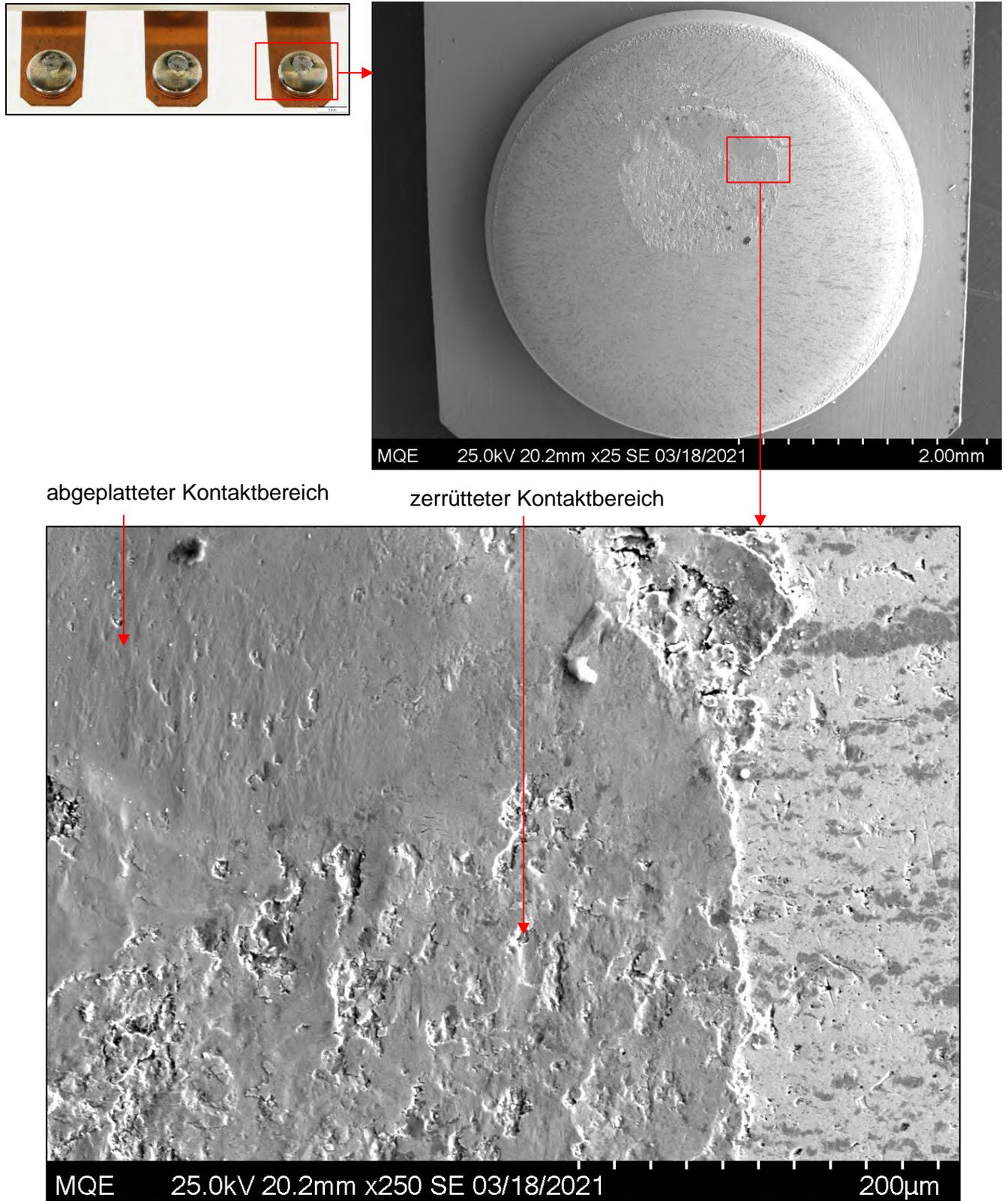
Spektrum 21

Element	Wt %
C	3,56
O	7,78
Ni	5,68
Cu	3,31
Zn	1,59
Mg	0,23
Al	0,75
Si	0,18
P	0,12
S	1,14
Cl	0,13
Ag	75,52

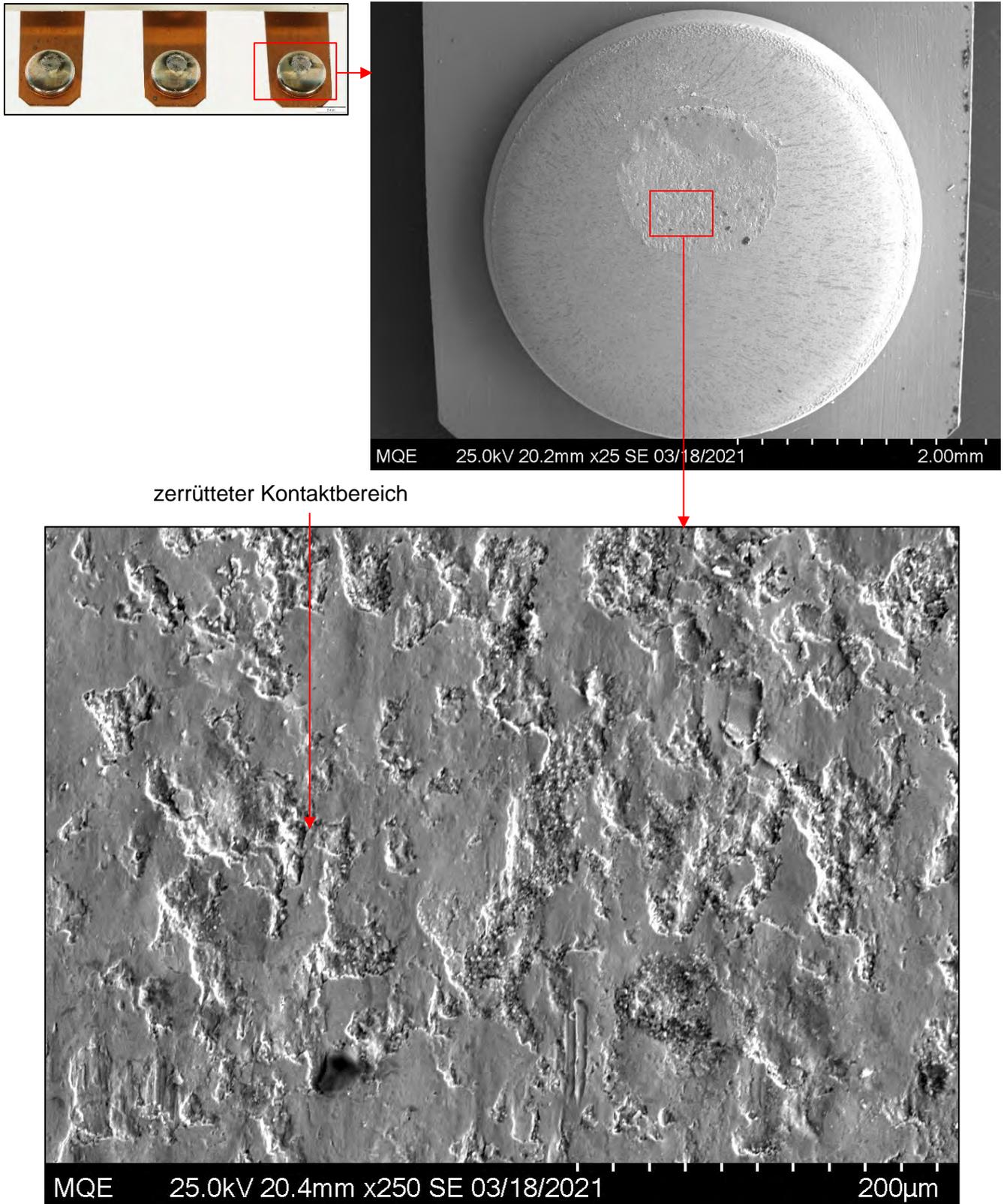
Spektrum 22

Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %	Element	Wt %
C	52,97	Zn	3,42	Si	0,43	Ag	20,97
O	10,05	Mg	0,40	S	1,64	K	1,09
Ni	3,16	Al	0,52	Cl	1,99	Ca	3,38

Bild 2.23 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Steuerbord/ Arbeitskontakte/ REM-Probe 4



**Bild 2.24 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Steuerbord/
Arbeitskontakte/ REM-Probe 4**



**Bild 2.25 Schiffobjekt „Northsea Rational“/ Rudersteuerung/ Relais Steuerbord/
Arbeitskontakte/ REM-Probe 4**