

## 6. Ergebnisse

Die Ergebnispräsentation erfolgt jeweils in tabellarischer Form, für die aus den Messkurven entnommenen Parameter, sowie als bildliche Darstellung mit zwei verschiedenen Graphiktypen. Während die Messungen der einfachen Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven logarithmisch ( lg ( I ) vs. E ) dargestellt sind, sind die zyklischen Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven ( I vs. E ) und die Ruhepotential – Zeit – Kurven linear. Die repräsentativen Graphen gemessen auf den Ausgangsmaterialien bzw. auf den Verbindungen in 1% iger NaCl – Lösung, Coca Cola light sowie Eistee sind wegen der besseren Anschaulichkeit ebenfalls in Tabellenform zusammengefasst. Die nachfolgende Tab.6.1 gibt deren Einteilung wieder.

Tab.6.1 Darstellung der graphischen Ergebniszusammenfassung mit Beispielkurven

	Ruhepotential – Messungen ( E – t – Kurve )	Single sweep Voltammetrie ( lg I – E – Kurve )	Zyklische Voltammetrie ( I – E – Kurve )
Messungen der Legierung mit 1%iger NaCl – Lösung			
Messungen der Legierung mit Coca Cola light			
Messungen der Legierung mit Eistee			

Beim Ruhepotential (  $E_{OCP}$  ) sind in der Graphik der Coca Cola light – Messung zusätzlich Minimum und Maximum der  $E_{OCP}$ 's durch rote gestrichelte Linien unter Berücksichtigung aller drei Elektrolyte gekennzeichnet.

Die Ruhepotentiale nach 300 s sind die Ausgangspotentiale für die anschließend folgenden voltammetrischen Messungen.

Im Gegensatz zu den Kurven der Ruhepotentialmessungen und der Single sweep Voltammetrie sind die Maßstäbe der zyklischen Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven einander nicht angepasst, da deren Ströme bei der 1% igen NaCl – Lösung deutlich höher als bei Coca Cola light und Eistee liegen.

Bei den zyklischen Messungen mit Eistee auf der Krone, dem Draht, dem Stangenlot und dem Hartlot weisen sie im Stromfluss wiederum so große Unterschiede auf, dass die Kurven nicht mehr in einer Graphik darstellbar sind. Aus diesem Grund zeigt eine Abbildung die Messungen auf den bearbeiteten Oberflächen, die zweite ist um die Messung auf der unbehandelten Probe ( violett ) ergänzt.

Gleiche Messkurven einer Messreihe lassen sich durch gleiche Farben zuordnen, z.B. ist die Referenzmessung immer violett.

Die Abbildungen 6.1 und 6.2 stellen die Unterteilung der Messungen schematisch dar. Die zusammengehörigen Messungen vom behandelten – und vom Anlieferungszustand der Legierungen sind in der Auswertung einander zugeordnet.

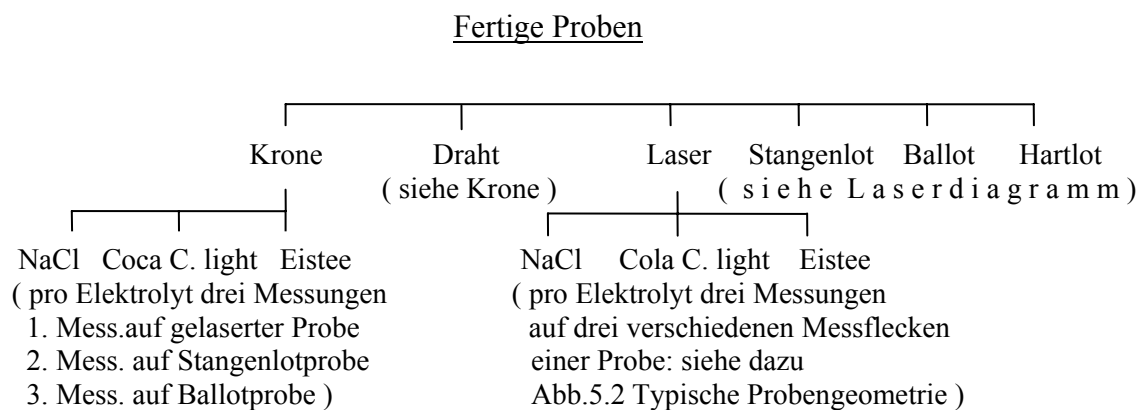


Abb.6.1 Schematische Darstellung der Messungen an den gefertigten Proben

Für die Messungen der Krone und des Drahtes nach der Verbundherstellung wurden drei verschiedene Prüfkörper verwendet ( Abb.6.1 ). Der erste hatte eine gelaserte Fügestelle ( schwarze Kurve ), beim zweiten wurden die Drahtretentionen mit Stangenlot ( rote Kurve ) angelötet, beim dritten erfolgte die Befestigung mit Ballot ( grüne Kurve ). Der jeweilige Messpunkt ( MP ) lag so weit wie möglich von der eigentlichen Schweiß – bzw. Lötstelle entfernt.

Die Messungen der Lotlegierungen und der gelaserten Fügstellen fanden dagegen an drei verschiedenen Messpunkten desselben Prüfkörpers statt.

### Unbehandelter Anlieferungszustand

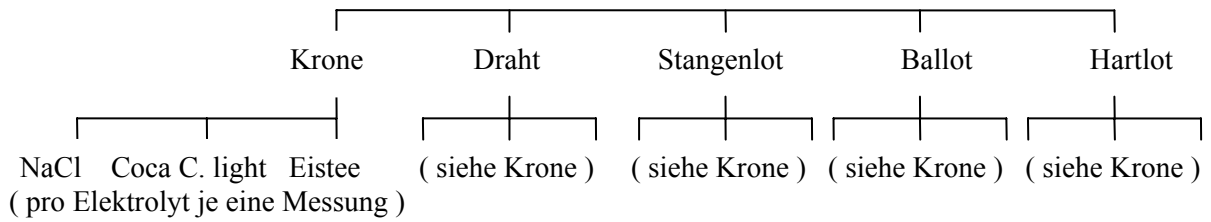


Abb.6.2 Schematische Darstellung der Messungen an den unbehandelten Materialien

Die Referenzmessung ( violette Kurve ) entstand für Krone, Draht und Lote auf einem jeweils unbehandelten Produkt ( Abb.6.2 ). Sie dient vor allem als Vergleich zu den Messergebnissen von den Verbindungsstellen. Ziel ist die Bewertung der Veränderung des elektrochemischen Verhaltens insbesondere der Korrosionsstabilität durch die Verarbeitung.

In Tabelle 6.2 sind die im Kapitel ERGEBNISSE verwendeten Abkürzungen für die unterschiedlichen Verbindungen zwischen Krone und Draht aufgeführt.

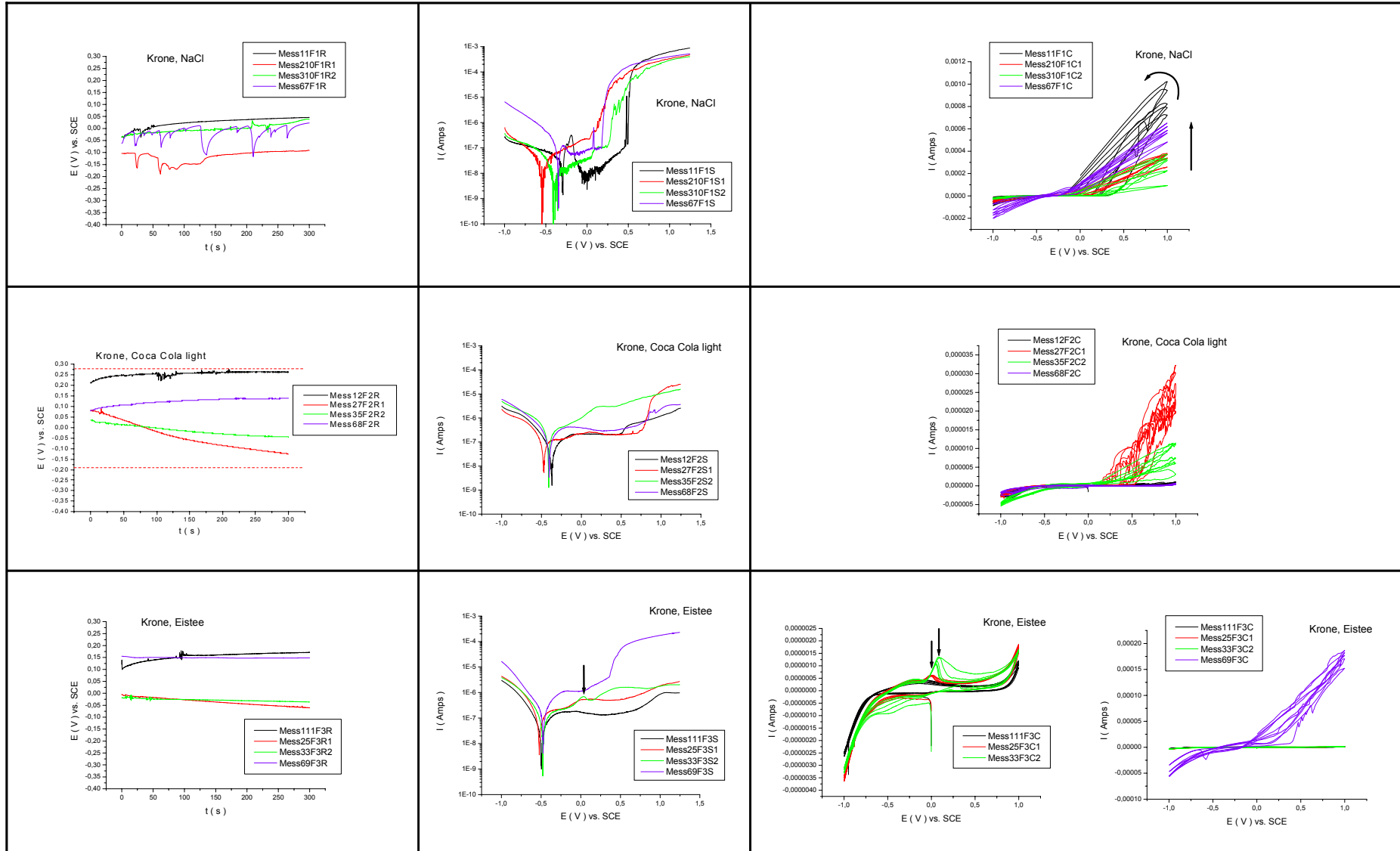
Tab.6.2 Verwendete Abkürzung für die unterschiedlichen Verbindungen

	Verbindung zwischen Krone ( <b>K</b> ) und Draht ( <b>D</b> ) durch:			
	Lasern ( <b>L</b> )	Stangenlot ( <b>S</b> )	Ballot ( <b>B</b> )	Hartlot ( <b>H</b> )
Abkürzung	K – L – D	K – S – D	K – B – D	K – H – D

An die Darstellung der Ergebnisse schließt sich die Präsentation der Rasterelektronen – bzw. Lichtmikroskopaufnahmen an, mit welchen die während der Messung bzw. Lagerung der Proben stattgefundenen elektrochemischen Prozesse bildlich festgehalten wurden.

Tab.6.3 Zus.stellung der Ergebnisse gemessen in 3 unterschiedlichen Elektrolyten auf 3 verschiedenen Kronen ( K ), die eine gelaserte ( schwarz ), Stangenlot – ( rot ) bzw. Ballot – Fügstelle ( grün ) haben, sowie dem Anlieferungszustand ( violett )

52



## 6.1 Auswertung der Messungen auf den Kronen

Die Graphiken zu den Tabellen und den sich anschließenden Texten von den Messungen auf den Kronen in 1% iger NaCl – Lösung, Coca Cola light und Eistee befinden sich in Tab.6.3. Die Messungen fanden in jedem Elektrolyten jeweils auf drei verschiedenen Proben statt. Der rote Pfeil der Abbildung 6.3 kennzeichnet exemplarisch die mögliche Position der Messelektrode.

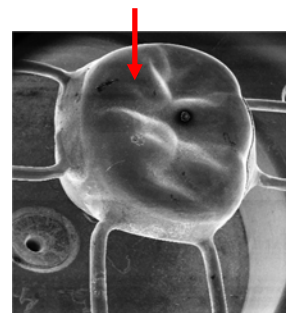


Abb.6.3 Lokaler Lückenthalter

### Ruhepotential – Messungen ( $E_{OCP}$ )

Tab.6.4 Ruhepotentiale (  $E_{OCP}$  ) vs. SCE gemessen in Volt nach 300 s

Farbe des Graphen	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )
	Krone NaCl		Krone Cola		Krone Eistee	
<b>Schwarz</b>	11F1R	4,59E-02	<b>12F2R</b>	<b>2,65E-01</b>	111F3R	1,72E-01
<b>Rot</b>	210F1R1	-9,15E-02	<b>27F2R1</b>	<b>-1,25E-01</b>	25F3R1	-6,11E-02
<b>Grün</b>	310F1R2	3,82E-02	<b>35F2R2</b>	<b>-4,53E-02</b>	33F3R2	-3,67E-02
	Mittelwerte Stabw	-2,51E-03 7,72E-02	<b>Mittelwerte Stabw</b>	<b>3,13E-02</b> <b>2,05E-01</b>	Mittelwerte Stabw	2,48E-02 1,28E-01
<b>Violett</b>	67F1R	2,30E-02	<b>68F2R</b>	<b>1,41E-01</b>	69F3R	1,48E-01

### Single sweep Voltammetrie

Tab.6.5 Parameter der Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven

Proben - nummer	$E_{Corr} / E_0$ ( Volts )	$I_0$ (Amps/cm <sup>2</sup> )	$R_p$ (Ohms/cm <sup>2</sup> )	$E_{300}$ ( Volts )	$I_{E 300}$ (Amps/cm <sup>2</sup> )	$E_d$ ( Volts )	Corr Rate ( mmPY )
<b>Krone NaCl</b>							
11F1S	-0,0582	5,71E-06	4570,5	0,242	2,81E-07	0,74	0,0622
210F1S1	-0,3038	2,89E-06	9026,4	-0,004	1,12E-05	0,308	0,0315
310F1S2	-0,1677	2,20E-06	11835	0,132	3,83E-06	0,505	0,024
<b>Mittelwerte Stabw</b>	<b>-0,1766</b> <b>0,123</b>	<b>3,60E-06</b> <b>1,86E-06</b>	<b>8477,3</b> <b>3660</b>	<b>0,123</b> <b>0,123</b>	<b>5,12E-06</b> <b>5,59E-06</b>	<b>0,518</b> <b>0,216</b>	<b>0,0393</b> <b>0,0202</b>
67F1S	-0,1098	9,66E-06	2699,9	0,19	8,50E-06	0,456	0,1053
<b>Krone Cola</b>							
12F2S	-0,1324	3,86E-06	6759,7	0,168	2,54E-05	0,662	0,0421
27F2S1	-0,2308	7,16E-06	3644,7	0,069	1,89E-05	1,004	0,078
35F2S2	-0,1695	1,55E-05	1687,5	0,131	8,16E-05	0,455	0,1685
<b>Mittelwerte</b>	<b>-0,1776</b>	<b>8,83E-06</b>	<b>4030,6</b>	<b>0,122</b>	<b>4,20E-05</b>	<b>0,707</b>	<b>0,0962</b>

<b>Stabw</b>	<b>0,0497</b>	<b>5,98E-06</b>	<b>2560</b>	<b>0,05</b>	<b>3,45E-05</b>	<b>0,278</b>	<b>0,0652</b>
68F2S	-0,1614	1,06E-05	2464,5	0,139	5,24E-05	1,058	0,1153
<b>Krone Eistee</b>							
111F3S	-0,2539	3,68E-06	7090	0,046	2,17E-05	0,539	0,0401
25F3S1	-0,2814	7,73E-06	3375,5	0,019	2,90E-05	0,6	0,0842
33F3S2	-0,2353	6,64E-06	3927,3	0,065	3,01E-05	0,271	0,0724
<b>Mittelwerte Stabw</b>	<b>-0,2569</b> <b>0,0232</b>	<b>6,02E-06</b> <b>2,10E-06</b>	<b>4797,6</b> <b>2000</b>	<b>0,043</b> <b>0,023</b>	<b>2,69E-05</b> <b>4,59E-06</b>	<b>0,47</b> <b>0,175</b>	<b>0,0656</b> <b>0,0228</b>
69F3S	-0,2326	1,65E-05	1582,6	0,067	1,45E-04	0,592	0,1797

## Zyklische Voltammetrie

Tab.6.6 Parameter der zyklischen Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven

Farbe des Graphen	Proben - nummer	E <sub>lo</sub> ( Volts )	1V – E <sub>lo</sub> ( Volts )	I <sub>E = 1Volt</sub> ( Amps/cm <sup>2</sup> )	R ( Ω )
	<b>Krone NaCl</b>				
<b>Schwarz</b>	11F1C	-0,15	1,15	8,20E-04	1402,4
<b>Rot</b>	210F1C1	-0,2	1,2	3,30E-04	3636,4
<b>Grün</b>	310F1C2	-0,15	1,15	2,30E-04	5000
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>3346,3</b> <b>1820</b>
<b>Violett</b>	67F1C	-0,25	1,25	5,60E-04	2232,1
	<b>Krone Cola</b>				
<b>Schwarz</b>	12F2C	0	1	7,50E-07	1333333,3
<b>Rot</b>	27F2C1	0,02	0,98	2,50E-05	39200
<b>Grün</b>	35F2C2	0	1	7,00E-06	142857,1
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>91028,5</b> <b>719000</b>
<b>Violett</b>	68F2C	0,75	0,25	6,00E-07	416666,6
	<b>Krone Eistee</b>				
<b>Schwarz</b>	111F3C	0,6	0,4	1,00E-06	400000
<b>Rot</b>	25F3C1	0,25	0,75	1,70E-06	441176,4
<b>Grün</b>	33F3C2	0,15	0,85	1,60E-06	531250
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>457475,5</b> <b>67100</b>
<b>Violett</b>	69F3C	-0,18	1,18	1,70E-04	6941,2

Die Kurvenverläufe der Ruhepotentiale, gemessen in den drei Elektrolyten, zeigen nach 300 s deutliche Unterschiede, d.b jede besitzt an dieser Stelle eine andere Passivierung. Die roten Kurven ( Kronen mit Stangenlot – Fügstellen ) liegen jedes Mal am weitesten kathodisch und sind damit in allen drei Elektrolyten am aktivsten. Die schwarzen Graphen ( Kronen mit

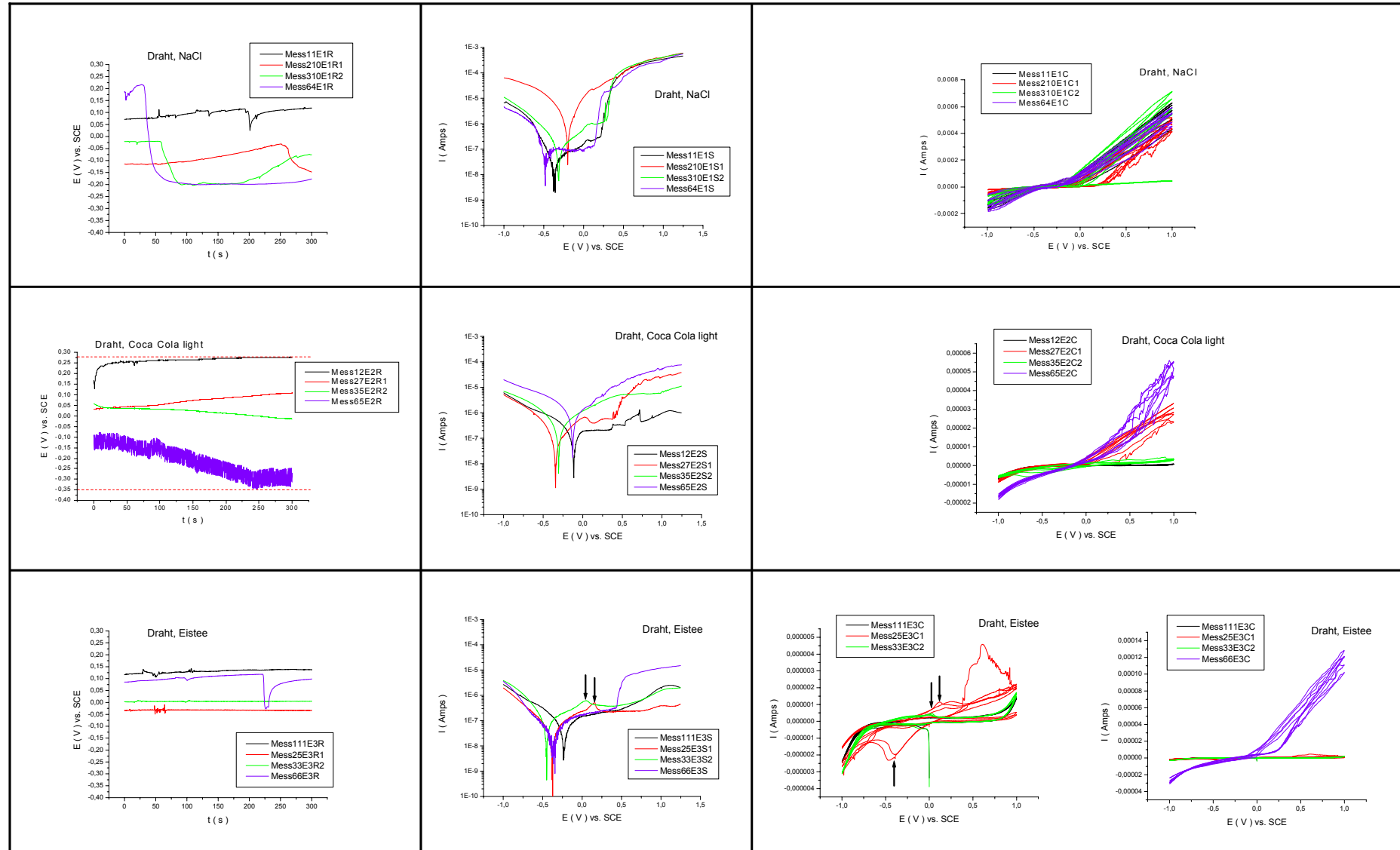
gelaserten Fügestellen ) dagegen haben in allen drei Fällen den anodischen Verlauf. Die grünen Kurven ( Kronen mit Ballot – Fügestellen ) und violetten ( Anlieferungszustand der Kronen ) befinden sich dazwischen, wobei letztere sich in Coca Cola light und Eistee als stabiler erweisen. Die Werte der Tabelle 6.4 bestätigen dieses Ergebnis.

Auch bei den Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven, gemessen in 1%iger NaCl – Lösung und Coca Cola light zeigen die roten Kurven ( Kronen mit Stangenlot – Fügestellen ) wie schon bei den Ruhepotentialmessungen durch ihre kathodische Verschiebung ein sehr aktives elektrochemisches Verhalten. Sie haben im Vergleich zu den anderen die negativsten Korrosionspotentiale (  $E_{\text{Corr}}$  ), siehe dazu Tabelle 6.5. Nur bei der Messung in Eistee ist die violette Kurve ( Anlieferungszustand ) etwas aktiver. Sie hat die größte Austauschstromdichte (  $I_0$  ) und den kleinsten  $R_p$  ( Polarisationswiderstand ). Bei der grünen Kurve ( Krone mit Ballot – Fügestelle ) der Eistee – Graphik scheinen sich Ablagerungen auf der Oberfläche zu befinden, die die durch einen schwarzen Pfeil ( ↓ ) gekennzeichneten peaks verursacht haben. Eventuell handelt es sich dabei um eine Kupferabscheidung aus dem Lot. Die schwarzen Kurven ( Kronen mit gelaserten Fügestellen ) präsentieren sich wie bei den  $E_{\text{OCP}}$ 's mit den positivsten Korrosionspotentialen als die stabilsten. In der NaCl – Lösung hat die schwarze Kurve einen klassischen Aktiv – Passiv – Aktivübergang mit deutlicher Passivierung. Sie besitzt hier den typischen Kurvenverlauf für passivierende Legierungen, während die restlichen Kurven eine Kombination verschiedener Reaktionen der Stahloberfläche wiedergeben. Die violette Kurve ( Anlieferungszustand ) passiviert noch schwach, bei der grünen und roten ( Kronen mit gelöteten Fügestellen ) hingegen lässt sich gar kein Aktiv – Passiv – Aktivübergang mehr finden. Bei den zyklischen Messungen sind zwischen den einzelnen Kronen deutliche Unterschiede erkennbar. Sie differenzieren dabei bei der Krone – Eistee – Messung im Stromfluss so stark, dass sie in diesem Fall nicht mehr in einer Graphik darstellbar sind. Aus diesem Grunde zeigt eine Abbildung die Messungen auf den bearbeiteten Kronen, die zweite ist um die Messung auf der unbehandelten Krone ( violette Kurve ) ergänzt. Die Kurven der Kronen mit gelöteten Fügestellen ( roter und grüner Graph ), die in Eistee gemessen wurden, haben wieder die bereits bei der Betrachtung der Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven erwähnten peaks. Die schwarzen Pfeile ( ↓ ) in der entsprechenden Abbildung markieren diese Bereiche. Bei allen Messungen ist im Laufe der Zyklen eine sich stetig erhöhende Korrosionsanfälligkeit zu beobachten. Man erkennt dies an dem immer größer werdenden Stromfluss, gekennzeichnet in Krone – NaCl durch den Pfeil ↑ seitlich der Abbildung. Mit einem zweiten, gebogenen Pfeil sind der negative loop ( Rückwärtskurve ) und damit der Kurvenverlauf innerhalb der Zyklen gekennzeichnet. Dieser loop zeigt an, dass es sich um Lochfrass ( pitting corrosion ) handelt.

Letztlich erweist sich die 1%ige NaCl – Lösung als aggressivster Elektrolyt mit entsprechend starken Reaktionen seitens der Proben, ersichtlich auch aus den Widerständen der Tab.6.6, während Eistee sich scheinbar besonders für die analytische Darstellung von Komplexbildungen ( peaks ) auf den Legierungsoberflächen eignet.



Tab.6.7 Zus.stellung der Ergebnisse gemessen in 3 unterschiedlichen Elektrolyten auf 3 verschiedenen Drähten ( D ), die eine gelaserte ( schwarz ), Stangenlot – ( rot ) bzw. Ballot – Fügstelle ( grün ) haben, sowie dem Anlieferungszustand ( violett )



## 6.2 Auswertung der Messungen auf den Drähten

Die Graphiken zu den Tabellen und den sich anschließenden Texten von den Messungen auf den Drähten in 1% iger NaCl – Lösung, Coca Cola light und Eistee befinden sich in Tab.6.7. Wie bei den Messungen auf den Kronen fanden diese in jedem Elektrolyten jeweils auf drei verschiedenen Proben statt. Der rote Pfeil der Abbildung 6.4 kennzeichnet exemplarisch die mögliche Position der Messelektrode.

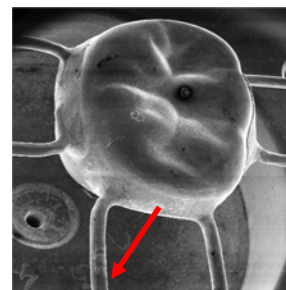


Abb.6.4 Lokaler Lückenthalter

### Ruhepotential – Messungen ( $E_{OCP}$ )

Tab.6.8 Ruhepotentiale (  $E_{OCP}$  ) vs. SCE gemessen in Volt nach 300 s

Farbe des Graphen	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )
	Draht NaCl		Draht Cola		Draht Eistee	
<b>Schwarz</b>	11E1R	1,19E-01	<b>12E2R</b>	<b>2,77E-01</b>	111E3R	1,37E-01
<b>Rot</b>	210E1R1	-1,48E-01	<b>27E2R1</b>	<b>1,08E-01</b>	25E3R1	-3,34E-02
<b>Grün</b>	310E1R2	-7,61E-02	<b>35E2R2</b>	<b>-1,68E-02</b>	33E3R2	5,21E-03
	Mittelwerte Stabw	-3,50E-02 1,38E-01	<b>Mittelwerte Stabw</b>	<b>1,23E-01</b> <b>1,47E-01</b>	Mittelwerte Stabw	3,64E-02 8,95E-02
<b>Violett</b>	64E1R	-1,77E-01	<b>65E2R</b>	<b>-3,13E-01</b>	66E3R	9,83E-02

### Single sweep Voltammetrie

Tab.: 6.9 Parameter der Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven

Proben - nummer	$E_{Corr} / E_0$ ( Volts )	$i_0$ ( Amps/cm <sup>2</sup> )	$R_p$ ( Ohms/cm <sup>2</sup> )	$E_{300}$ ( Volts )	$i_{E 300}$ ( Amps/cm <sup>2</sup> )	$E_d$ ( Volts )	Corr Rate ( mmPY )
<b>Draht NaCl</b>							
11E1S	-0,1274	3,69E-06	7061,6	0,173	1,45E-05	0,48	0,0406
210E1S1	0,0422	7,25E-05	359,9	0,342	2,86E-03	0,264	0,7965
310E1S2	-0,0725	7,82E-06	3334,9	0,227	6,90E-05	0,551	0,0859
<b>Mittelwerte Stabw</b>	<b>-0,0526</b> <b>0,0865</b>	<b>2,80E-05</b> <b>3,86E-05</b>	<b>3585,5</b> <b>3360</b>	<b>0,247</b> <b>0,087</b>	<b>9,81E-04</b> <b>1,63E-03</b>	<b>0,431</b> <b>0,15</b>	<b>0,3077</b> <b>0,424</b>
64E1S	-0,2414	1,15E-05	2272	0,059	1,14E-05	0,377	0,1262
<b>Draht Cola</b>							
12E2S	0,127	7,58E-06	3443,2	0,427	2,65E-05	0,505	0,0832
27E2S1	-0,1014	5,18E-06	5036,3	0,199	6,69E-05	0,663	0,0569

35E2S2	-0,0633	1,42E-05	1836	0,237	1,45E-04	0,891	0,1561
<b>Mittelwerte Stabw</b>	<b>-0,0126 0,122</b>	<b>8,99E-06 4,68E-06</b>	<b>3438,5 1600</b>	<b>0,287 0,122</b>	<b>7,96E-05 6,04E-05</b>	<b>0,686 0,194</b>	<b>0,0988 0,0514</b>
65E2S	0,1137	3,93E-05	664,3	0,414	4,60E-04	0,244	0,4315
<b>Draht Eistee</b>							
111E3S	0,0098	3,32E-06	7854,5	0,31	2,02E-05	0,545	0,0365
25E3S1	-0,1377	2,46E-06	10623	0,162	2,25E-05	0,692	0,027
33E3S2	-0,2105	5,03E-06	5186,8	0,09	3,28E-05	0,814	0,0552
<b>Mittelwerte Stabw</b>	<b>-0,1128 0,112</b>	<b>3,60E-06 1,31E-06</b>	<b>7888,1 2720</b>	<b>0,187 0,112</b>	<b>2,52E-05 6,70E-06</b>	<b>0,684 0,135</b>	<b>0,0395 0,0144</b>
66E3S	-0,1340	4,31E-06	6047,7	0,166	1,86E-05	0,677	0,0474

## Zyklische Voltammetrie

Tab.6.10 Parameter der zyklischen Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven

Farbe des Graphen	Proben - nummer	E <sub>lo</sub> ( Volts )	1V – E <sub>lo</sub> ( Volts )	I <sub>E = 1Volt</sub> ( Amps/cm <sup>2</sup> )	R ( Ω )
	<b>Draht NaCl</b>				
<b>Schwarz</b>	11E1C	-0,25	1,25	5,30E-04	2358,5
<b>Rot</b>	210E1C1	-0,15	1,15	4,60E-04	2500
<b>Grün</b>	310E1C2	-0,2	1,2	4,00E-04	3000
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>2619,5 337</b>
<b>Violett</b>	64E1C	-0,25	1,25	5,25E-04	2380,9
	<b>Draht Cola</b>				
<b>Schwarz</b>	12E2C	0,75	0,25	9,00E-07	277777,8
<b>Rot</b>	27E2C1	-0,15	1,15	2,80E-05	41071,4
<b>Grün</b>	35E2C2	0,05	0,95	3,20E-06	296875
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>205241,4 142000</b>
<b>Violett</b>	65E2C	-0,18	1,18	5,10E-05	23137,3
	<b>Draht Eistee</b>				
<b>Schwarz</b>	111E3C	0,65	0,35	1,80E-06	194444,4
<b>Rot</b>	25E3C1	0,05	0,95	1,10E-06	863636,4
<b>Grün</b>	33E3C2	0,6	0,4	1,70E-06	235294,1
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>431124,9 375000</b>
<b>Violett</b>	66E3C	-0,18	1,18	1,13E-04	10442,5

In den graphischen Darstellungen der Ruhepotential – Messungen auf dem Draht sind nach 300 Sekunden deutliche Unterschiede erkennbar. Besonders auffällig erscheint der ungleichmäßige und weit kathodische Kurvenverlauf der violetten Kurve ( Anlieferungszustand des Drahtes ) in der Coca Cola light – Graphik als aggressive Reaktion auf die Phosphorsäurelösung des

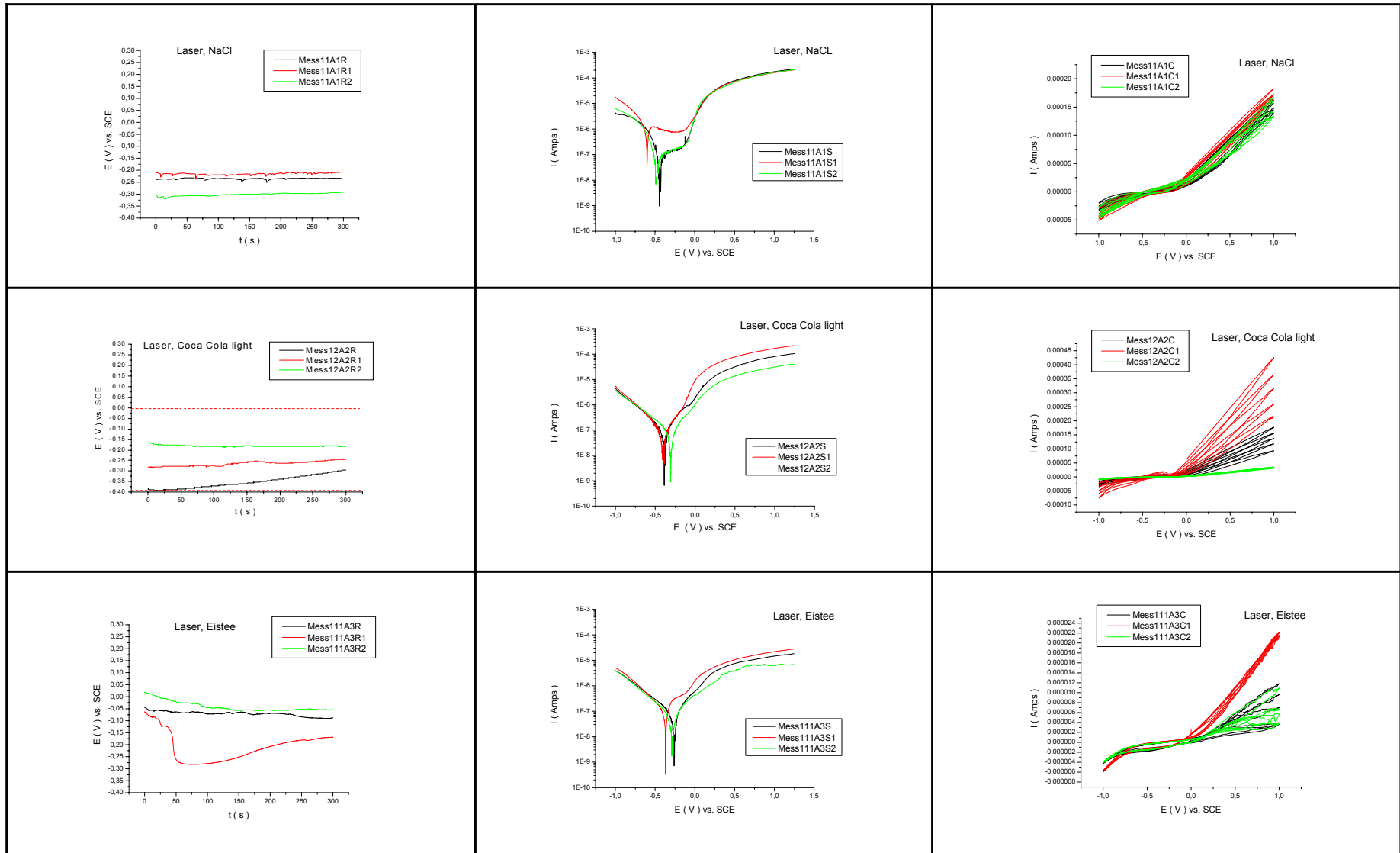
Elektrolyten. Sie stellt gleichzeitig zusammen mit der schwarzen Kurve ( Krone mit gelasertes Fügestelle ) dieser Graphik das Minimum bzw. das Maximum aller  $E_{OCP}$  – Messungen auf dem Draht ( Tab.6.8 ) dar. Auch die Potentiale der beiden anderen schwarzen Kurven verlaufen in ihren Elektrolyten am weitesten anodisch. Die Kronen mit gelaserten Fügestellen sind damit im Vergleich besonders stabil.

Die anodische Lage der drei schwarzen Kurven ( Kronen mit gelaserten Fügestellen ) bei der Single sweep Voltammetrie beweist, dass sie im Vergleich zu den anderen in allen Elektrolyten das passivste Verhalten haben. Der Verlauf der grünen ( Kronen mit Ballot – Fügestellen ) und roten ( Kronen mit Stangenlot – Fügestellen ) Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven zeigt dagegen eine deutliche Aktivierung der Oberfläche, die bei letzterer in 1%iger NaCl – Lösung mit der typischen Stahloberfläche nichts mehr zu tun hat. Auch ein Passivverhalten wie bei den anderen drei Graphen in diesem Elektrolyt liegt nicht vor. Ihre Parameter, z.B. die große Austauschstromdichte (  $I_0$  ), belegen dies ( Tab.6.9 ). Im Gegensatz dazu spiegeln die violette ( Anlieferungszustand ) und schwarze Kurve ( Krone mit gelasertes Fügestelle ) das Verhalten einer typischen Stahlkurve wieder. In der Graphik Draht – Eistee sind bei der grünen und roten Kurve peaks ( ↓ ) erkennbar. Es scheint durch Komplexbildung zu einem verstärkten Auftreten von Signalen gekommen zu sein, die sich als peaks in den Kurven darstellen.

Auf Grund der permanenten Belastung durch die zyklische Polarisierung sind auf dem Draht nur noch wenige Unterschiede zwischen den einzelnen Bearbeitungszuständen sichtbar. Ihre Aktivität ist in der NaCl – Lösung am größten. Die schwarzen zyklischen Kurven ( Kronen mit gelaserten Fügestellen ) erweisen sich insgesamt als am stabilsten, wie auch bei der Ruhepotential – und einzyklischen Messung. Nur die violetten Kurven ( Anlieferungszustand ) zeigen in Coca Cola light, aber vor allem in Eistee eine so große und von den bearbeiteten Zuständen ( schwarzer, roter, grüner Graph ) abweichende Aktivität, dass bei letzterem Elektrolyt eine weitere Abbildung notwendig ist. Die Widerstände der Tab.6.10 belegen diese Erkenntnis. Des Weiteren erkennt man in der Draht – Eistee – Graphik peaks ( ↓ ↑ ), die auf Reaktionsprodukte an der Legierungsoberfläche hinweisen. Bei der roten Kurve sind sie besonders deutlich zu sehen.

Auch bei diesen Messungen ist mit jedem Zyklus eine kontinuierliche Steigerung der Korrosion zu beobachten, insbesondere Lochfrass, der, wenn er einmal begonnen hat, immer präsent ist.

Tab.6.11 Zus.stellung der Ergebnisse gemessen in 3 unterschiedlichen Elektrolyten auf 3 verschiedenen gelaserten Fügstellen ( K – L – D )  
 ( schwarz – 1.Messpunkt, rot – 2.Messpunkt, grün – 3.Messpunkt )



### 6.3 Auswertung der Messungen auf den gelaserten Fugstellen

Die Graphiken zu den Tabellen und den sich anschließenden Texten von den Messungen auf den gelaserten Fugstellen in 1% iger NaCl – Lösung, Coca Cola light und Eistee befinden sich in Tab.6.11. Im Gegensatz zu den Messungen auf der Krone und dem Draht fanden alle folgenden Messungen in jedem Elektrolyten jeweils an einer Probe statt. Eine Referenzmessung des Anlieferungszustandes ist nicht möglich. Der rote Pfeil der Abbildung 6.5 kennzeichnet exemplarisch die mögliche Position der Messelektrode.

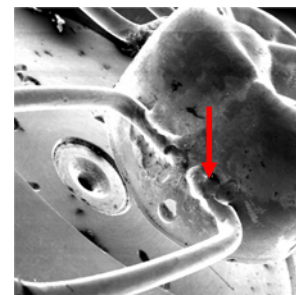


Abb.6.5 Lokaler Lückenthalter

#### Ruhepotential – Messungen ( $E_{OCP}$ )

Tab.6.12 Ruhepotentiale (  $E_{OCP}$  ) vs. SCE gemessen in Volt nach 300 s

Farbe des Graphen	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )
	Laser NaCl		Laser Cola		Laser Eistee	
Schwarz	11A1R	-2,37E-01	12A2R	-2,94E-01	111A3R	-8,77E-02
Rot	11A1R1	-2,08E-01	12A2R1	-2,43E-01	111A3R1	-1,69E-01
Grün	11A1R2	-2,92E-01	12A2R2	-1,83E-01	111A3R2	-5,47E-02
	Mittelwerte	-2,46E-01	Mittelwerte	-2,40E-01	Mittelwerte	-1,04E-01
	Stabw	4,26E-02	Stabw	5,52E-02	Stabw	5,86E-02

#### Single sweep Voltammetrie

Tab.6.13 Parameter der Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven

Proben - nummer	$E_{Corr} / E_o$ ( Volts )	$i_o$ ( Amps/cm <sup>2</sup> )	$R_p$ ( Ohms/cm <sup>2</sup> )	$E_{300}$ ( Volts )	$i_{E 300}$ ( Amps/cm <sup>2</sup> )	$E_d$ ( Volts )	Corr Rate ( mmPY )
<b>Laser NaCl</b>							
11A1S	-0,2036	9,68E-06	2694,9	0,096	2,70E-05	0,136	0,106
11A1S1	-0,3592	1,02E-04	255,4	-0,059	9,46E-05	0,124	1,1184
11A1S2	-0,2426	9,41E-06	2771,1	0,057	2,33E-05	0,174	0,1031
<b>Mittelwerte</b>	<b>-0,2685</b>	<b>4,04E-05</b>	<b>1907,1</b>	<b>0,032</b>	<b>4,83E-05</b>	<b>0,144</b>	<b>0,4425</b>
<b>Stabw</b>	<b>0,081</b>	<b>5,35E-05</b>	<b>1430,9</b>	<b>0,081</b>	<b>4,01E-05</b>	<b>0,026</b>	<b>0,585</b>
<b>Laser Cola</b>							
12A2S	-0,1431	6,12E-06	4259,4	0,157	1,14E-04	0,13	0,0671
12A2S1	-0,1655	7,26E-06	3594	0,134	2,00E-04	0,128	0,0795
12A2S2	-0,0642	5,16E-06	5059,8	0,236	1,20E-04	0,141	0,0565
<b>Mittelwerte</b>	<b>-0,1243</b>	<b>6,18E-06</b>	<b>4304,4</b>	<b>0,176</b>	<b>1,45E-04</b>	<b>0,133</b>	<b>0,0677</b>

<b>Stabw</b>	<b>0,0532</b>	<b>1,05E-06</b>	<b>733,9</b>	<b>0,053</b>	<b>4,80E-05</b>	<b>0,007</b>	<b>0,012</b>
<b>Laser Eistee</b>							
111A3S	-0,0182	3,92E-06	6656,6	0,282	9,89E-05	0,227	0,0429
111A3S1	-0,1265	1,01E-05	2588,2	0,174	9,40E-05	0,095	0,1104
111A3S2	-0,0414	3,77E-06	6915,6	0,259	5,71E-05	0,185	0,0413
<b>Mittelwerte</b>	<b>-0,0620</b>	<b>5,92E-06</b>	<b>5386,8</b>	<b>0,238</b>	<b>8,34E-05</b>	<b>0,169</b>	<b>0,0649</b>
<b>Stabw</b>	<b>0,057</b>	<b>3,60E-06</b>	<b>2430</b>	<b>0,05</b>	<b>2,28E-05</b>	<b>0,068</b>	<b>0,0394</b>

## Zyklische Voltammetrie

Tab.6.14 Parameter der zyklischen Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven

<b>Farbe des Graphen</b>	<b>Proben - nummer</b>	<b>E<sub>Io</sub> ( Volts )</b>	<b>1V – E<sub>Io</sub> ( Volts )</b>	<b>I<sub>E = 1V</sub> ( Amps/cm<sup>2</sup> )</b>	<b>R ( Ω )</b>
	<b>Laser NaCl</b>				
<b>Schwarz</b>	11A1C	-0,2	1,2	1,50E-04	8000
<b>Rot</b>	11A1C1	-0,25	1,25	1,70E-04	7352,9
<b>Grün</b>	11A1C2	-0,25	1,25	1,50E-04	8333,3
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>7895,4</b> <b>498</b>
	<b>Laser Cola</b>				
<b>Schwarz</b>	12A2C	-0,2	1,2	1,30E-04	9230,8
<b>Rot</b>	12A2C1	-0,2	1,2	3,20E-04	3750
<b>Grün</b>	12A2C2	-0,15	1,15	3,30E-05	34848,5
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>15943,1</b> <b>16600</b>
	<b>Laser Eistee</b>				
<b>Schwarz</b>	111A3C	-0,05	1,05	7,00E-06	150000
<b>Rot</b>	111A3C1	-0,15	1,15	2,20E-05	52272,7
<b>Grün</b>	111A3C2	0	1	7,00E-06	142857,1
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>115043,3</b> <b>54500</b>

Zu Beginn der Ruhepotential – Messungen auf den gelaserten Fügestellen zwischen der Krone und den Drähten ( siehe Abb. ) sind geringe Potentialschwankungen zwischen den einzelnen Messpunkten erkennbar, die sich jedoch zum Ende einander immer mehr angleichen. Die Messwerte können der Tab.6.12 entnommen werden.

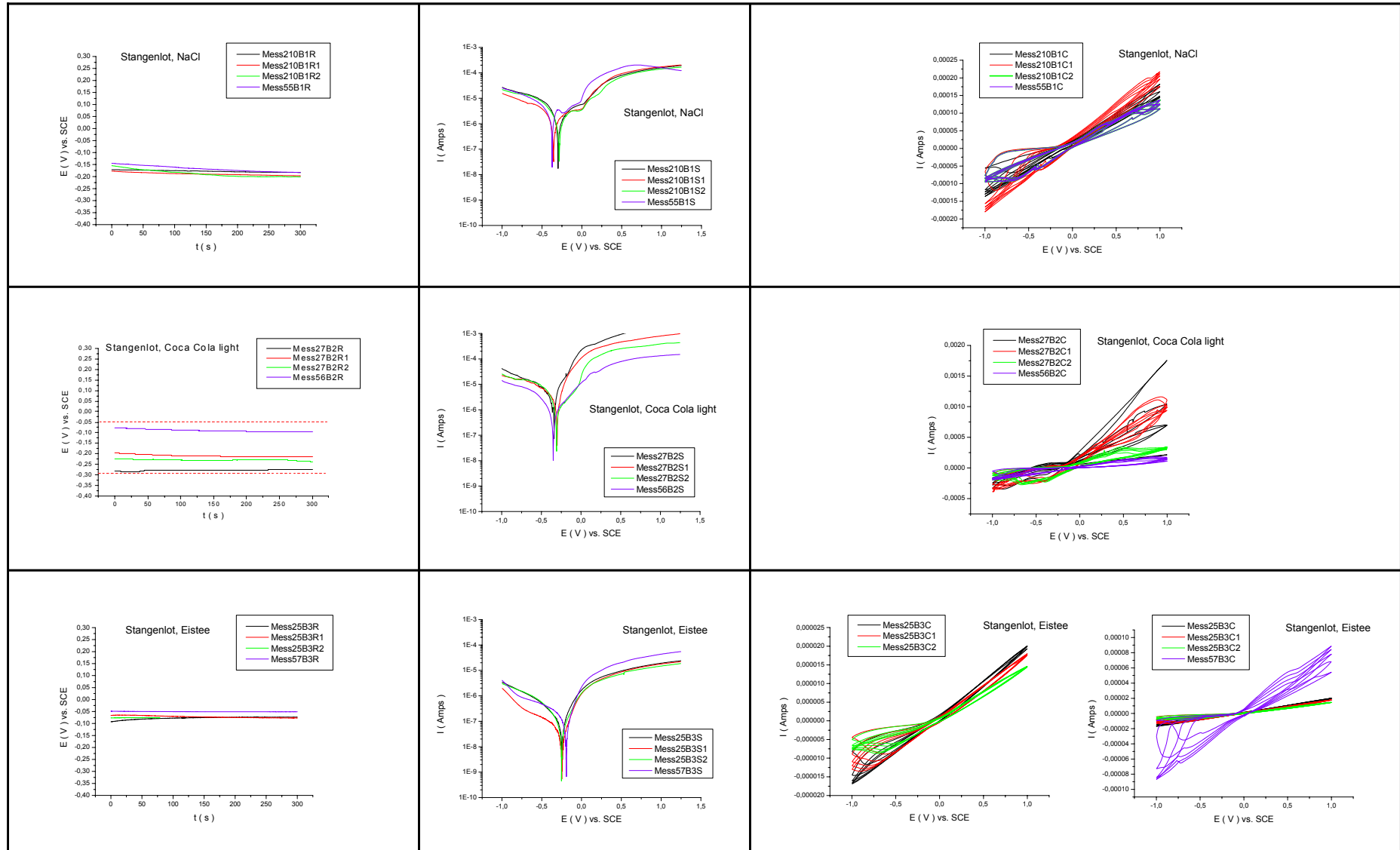
Sowohl die Ruhepotential – als auch die einzyklischen Kurven der gelaserten Proben spiegeln eindrucksvoll die Reproduzierbarkeit der Messungen mit dem Mini – Cell – System wider. Nur die rote Kurve ( 2.MP: K – L – D ) in der NaCl – Graphik weicht anfangs im Verlauf von ihren Vergleichsmesspunkten ( schwarz, grün ) ab, gleicht sich jedoch zum Ende den beiden anderen Graphen an. Ihr Korrosionspotential liegt am weitesten kathodisch, und sie hat das größte

Nullstrompotential, siehe Tab.6.13. Man kann im Gegensatz zu den Kurven der Coca Cola light – und Eistee – Messungen bei allen drei Graphen die aktive und passive Phase gut von einander abgrenzen.

Während sich bei den zyklischen Messungen in 1%iger NaCl – Lösung keine Unterschiede zwischen den einzelnen Graphen erkennen lassen, zeigt in Coca Cola light und Eistee jeder ein anderes Verhalten. Besonders auf der Messfläche der beiden roten Kurven ( 2.MP: K – L – D ) wird die Korrosion immer stärker angeregt. Dies erkennt man an dem von Zyklus zu Zyklus steigenden Stromfluss bei 1 V und den geringen Widerständen ( Tab.6.14 ). Der Stromfluss bei der Eistee messung ist jedoch nicht annähernd so groß wie bei Cola. Es kommt auch in diesem Fall wie bei den anderen beiden Elektrolyten zu einer Aktivierung und Lochfrass.



Tab.6.15 Zus.stellung der Ergebnisse gemessen in 3 unterschiedlichen Elektrolyten auf 3 verschiedenen Stangenlot – Fügstellen ( K – S – D )  
 ( schwarz – 1.Messpunkt, rot – 2.Messpunkt, grün – 3.Messpunkt ) sowie dem Anlieferungszustand ( violett )



## 6.4 Auswertung der Messungen auf den Stangenlot – Fügstellen

Die Graphiken zu den Tabellen und den sich anschließenden Texten von den Messungen auf den Stangenlot – Fügstellen in 1% iger NaCl – Lösung, Coca Cola light und Eistee befinden sich in Tab.6.15. Wie bei den Messungen auf den gelaserten Fügstellen fanden diese in jedem Elektrolyten jeweils an einer Probe statt. Der rote Pfeil der Abbildung 6.6 kennzeichnet exemplarisch die mögliche Position der Messelektrode.

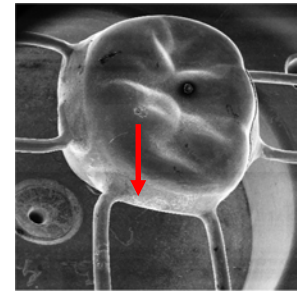


Abb.6.6 Lokaler Lückenthalter

### Ruhepotential – Messungen ( $E_{OCP}$ )

Tab.6.16 Ruhepotentiale (  $E_{OCP}$  ) vs. SCE gemessen in Volt nach 300 s

Farbe des Graphen	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )
	Stangenlot NaCl		Stangenlot Cola		Stangenlot Eistee	
Schwarz	210B1R	-1,83E-01	27B2R	-2,73E-01	25B3R	-7,37E-02
Rot	210B1R1	-1,97E-01	27B2R1	-2,15E-01	25B3R1	-7,67E-02
Grün	210B1R2	-2,02E-01	27B2R2	-2,37E-01	25B3R2	-7,64E-02
	Mittelwerte Stabw	-1,94E-01 9,51E-03	Mittelwerte Stabw	-2,42E-01 2,96E-02	Mittelwerte Stabw	-7,56E-02 1,65E-03
Violett	55E1R	-1,83E-01	56B2R	-9,61E-02	57B3R	-5,12E-02

### Single sweep Voltammetrie

Tab.6.17 Parameter der Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven

Proben - nummer	$E_{Corr} / E_0$ ( Volts )	$i_0$ ( Amps/cm <sup>2</sup> )	$R_p$ ( Ohms/cm <sup>2</sup> )	$E_{300}$ ( Volts )	$I_{E_{300}}$ ( Amps/cm <sup>2</sup> )	$E_d$ ( Volts )	Corr Rate ( mmPY )
<b>Stangenlot NaCl</b>							
210B1S	-0,0571	1,06E-04	245,7	0,243	7,22E-04	0,237	3,1764
210B1S1	-0,1138	8,43E-05	309,5	0,186	4,27E-04	0,246	2,5213
210B1S2	-0,0432	8,82E-05	295,7	0,257	4,82E-04	0,195	2,6393
Mittelwerte Stabw	-0,0714 0,0374	9,29E-05 1,17E-05	283,6 33,6	0,229 0,037	5,44E-04 1,57E-04	0,226 0,027	2,779 0,349
55B1S	-0,1318	1,94E-04	134,6	0,168	7,26E-04	0,204	5,7959
<b>Stangenlot Cola</b>							
27B2S	-0,0997	3,24E-04	80,4	0,201	1,87E-02	0,095	9,7036
27B2S1	-0,0616	1,92E-04	135,6	0,239	1,30E-02	0,08	5,7567
27B2S2	-0,0685	1,17E-04	222,9	0,232	1,81E-03	0,191	3,5012
Mittelwerte	-0,0766	2,11E-04	146,3	0,223	1,12E-02	0,122	6,3205

<b>Stabw</b>	<b>0,0203</b>	<b>1,05E-04</b>	<b>71,8</b>	<b>0,02</b>	<b>8,59E-03</b>	<b>0,06</b>	<b>3,14</b>
56B2S	-0,1101	5,55E-05	470,2	0,19	9,74E-04	0,083	1,6598
<b>Stangenlot Eistee</b>							
25B3S	-0,0048	7,18E-06	3631,1	0,295	3,03E-04	0,135	0,2149
25B3S1	-0,0059	2,62E-06	9947,1	0,294	2,27E-04	0,176	0,0784
25B3S2	-0,1136	3,37E-06	7740,8	0,186	7,13E-05	0,147	0,1008
<b>Mittelwerte Stabw</b>	<b>-0,0414</b> <b>0,0625</b>	<b>4,39E-06</b> <b>2,45E-06</b>	<b>7106,3</b> <b>3210</b>	<b>0,259</b> <b>0,063</b>	<b>2,01E-04</b> <b>1,18E-04</b>	<b>0,152</b> <b>0,021</b>	<b>0,1314</b> <b>0,0732</b>
57B3S	0,0487	6,89E-06	3788,6	0,349	6,91E-04	0,134	0,206

## Zyklische Voltammetrie

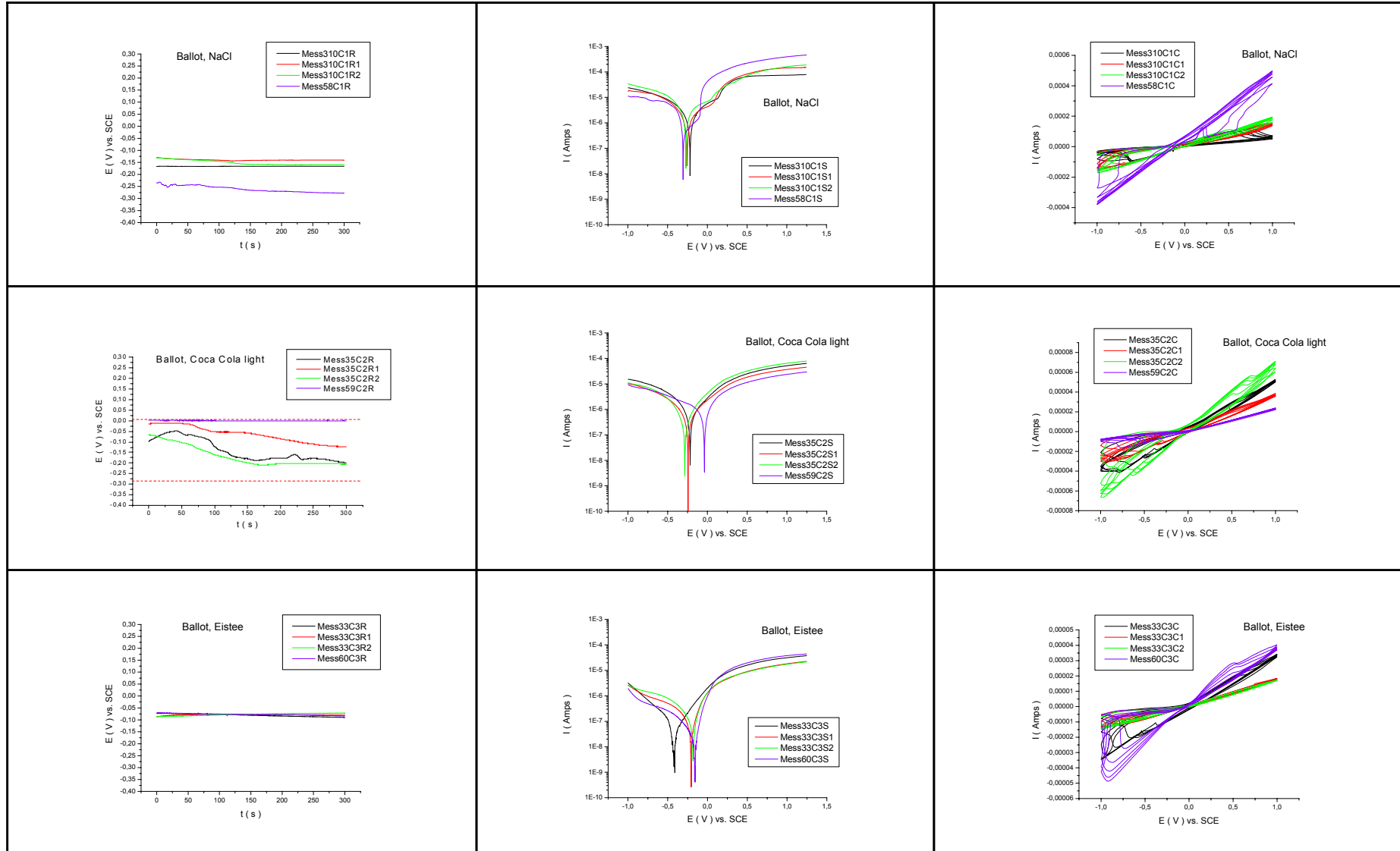
Tab.6.18 Parameter der zyklischen Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven

Farbe des Graphen	Proben - nummer	$E_{I_0}$ ( Volts )	$1V - E_{I_0}$ ( Volts )	$I_{E=1V}$ ( Amps/cm <sup>2</sup> )	R ( $\Omega$ )
	<b>Stangenlot NaCl</b>				
<b>Schwarz</b>	210B1C	-0,05	1,05	1,60E-04	6562,5
<b>Rot</b>	210B1C1	-0,05	1,05	2,00E-04	5250
<b>Grün</b>	210B1C2	-0,05	1,05	1,25E-04	8400
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>6737,5</b> <b>1580</b>
<b>Violett</b>	55B1C	0	1	1,50E-04	6666,7
	<b>Stangenlot Cola</b>				
<b>Schwarz</b>	27B2C	-0,2	1,2	1,00E-03	1200
<b>Rot</b>	27B2C1	-0,05	1,05	1,00E-03	1050
<b>Grün</b>	27B2C2	-0,05	1,05	3,25E-04	3230,8
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>1826,9</b> <b>1220</b>
<b>Violett</b>	56B2C	0	1	1,40E-04	7142,9
	<b>Stangenlot Eistee</b>				
<b>Schwarz</b>	25B3C	0	1	2,00E-05	50000
<b>Rot</b>	25B3C1	0,03	0,97	1,75E-05	55428,6
<b>Grün</b>	25B3C2	0	1	1,45E-05	68965,5
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>58131,4</b> <b>9770</b>
<b>Violett</b>	57B3C	0,005	0,995	6,80E-05	14632,4

In den Abbildungen der Ruhepotentialmessungen gemessen auf den Stangenlot – Fügestellen und von den dazugehörigen Referenzmessungen des unbearbeiteten Zustandes erkennt man bei der Coca Cola light – Messung geringe Unterschiede im Kurvenverlauf. Die violette Kurve ( Anlieferungszustand ) befindet sich am weitesten anodisch, ist somit am passivsten. Vergleicht man dagegen die Potentiale der NaCl –, bzw. Eistee – Messungen miteinander, sind sie ähnlich zueinander. Diese Tatsache wird durch die Werten der Tab.6.16 bestätigt.

Die Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven zeigen in ihrem Verlauf wenig Unterschiede. Nur bei der violette Kurve in 1%iger NaCl – Lösung, die die Messung des Anlieferungszustandes wiedergibt, lässt sich im Gegensatz zu den drei Lotmessungen ( schwarze, rote, grüne Kurve) noch ein leichter Aktiv – Passiv – Aktivübergang erkennen. Auch in Coca Cola light verhalten sich die Lotstellen etwas aktiver ( Tab.6.17 ). Die Eistee – Messungen haben insgesamt eine deutlich kleinere elektrochemische Aktivität im Vergleich zu den beiden anderen Elektrolyten. Im Ganzen betrachtet, erkennt man wie bereits beim Ruhepotential nur geringfügige Unterschiede zwischen den einzelnen Kurven, womit auch diese Ergebnisse die gute Reproduzierbarkeit der Messungen mit dem Mini – Cell – System veranschaulichen. Die zyklischen Voltammogramme in 1%iger NaCl – Lösung zeigen im gesamten Messbereich ein nahezu gleichförmiges Auflösungsverhalten. Der unbearbeitete Zustand ( violette Kurve ) und der 3.MP der K – S – D ( grünen Kurve ), beide haben den gleichen Kurvenverlauf, scheinen dabei etwas stabiler zu sein, d.b. die Widerstände sind entsprechend größer ( Tab.6.18 ). Die beiden anderen Messpunkte lassen optisch keinen Widerstand erkennen, da eine Passivierung nicht mehr stattfindet sondern durchgängiges Korrodieren. Bei den Coca Cola light – Messungen haben dagegen alle drei Messstellen ( schwarze, rote, grüne Kurve ) und die Referenzmessung ( violette Kurve ) einen anderen Kurvenverlauf, während es bei den Eistee – Messungen nur die unbehandelte Probe ( violette Kurve ) ist, die sich deutlich aktiver zeigt, so dass eine zweite Abbildung notwendig ist. Die drei Messpunkte ( schwarze, rote, grüne Kurve ), auf den bearbeiteten Proben in Eistee gemessen, verlaufen indessen sehr gleichmäßig zueinander. Jedoch finden sich im Rücklauf der roten, schwarzen und grünen Kurve peaks die im anodischen Kurvenverlauf nicht sichtbar sind, dasselbe gilt für den kathodischen Bereich bei den Coca Cola light – Messungen. Bei allen zyklischen Messungen findet eine kontinuierliche Korrosion / Auflösung statt, so dass sie immer stärker durchbrechen.

Tab.6.19 Zus.stellung der Ergebnisse gemessen in 3 unterschiedlichen Elektrolyten auf 3 verschiedenen Ballot – Fügstellen ( K – B – D )  
 ( schwarz – 1.Messpunkt, rot – 2.Messpunkt, grün – 3.Messpunkt ) sowie dem Anlieferungszustand ( violett )



## 6.5 Auswertung der Messungen auf den Ballot – Fügstellen

Die Graphiken zu den Tabellen und den sich anschließenden Texten von den Messungen auf den Stangenlot – Fügstellen in 1% iger NaCl – Lösung, Coca Cola light und Eistee befinden sich in Tab.6.19. Wie bei den Messungen auf den Stangenlot – und gelaserten Fügstellen fanden diese in jedem Elektrolyten jeweils an einer Probe statt. Der rote Pfeil der Abbildung 6.6 kennzeichnet exemplarisch die mögliche Position der Messelektrode.

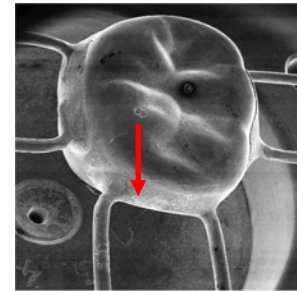


Abb.6.6 Lokaler Lückenthalter

### Ruhepotential – Messungen ( $E_{OCP}$ )

Tab.6.20 Ruhepotentiale (  $E_{OCP}$  ) vs. SCE gemessen in Volt nach 300 s

Farbe des Graphen	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )
	Ballot NaCl		Ballot Cola		Ballot Eistee	
<b>Schwarz</b>	310C1R	-1,66E-01	<b>35C2R</b>	<b>-2,00E-01</b>	33C3R	-9,05E-02
<b>Rot</b>	310C1R1	-1,41E-01	<b>35C2R1</b>	<b>-1,24E-01</b>	33C3R1	-8,04E-02
<b>Grün</b>	310C1R2	-1,59E-01	<b>35C2R2</b>	<b>-2,04E-01</b>	33C3R2	-7,19E-02
	Mittelwerte Stabw	-1,55E-01 1,29E-02	Mittelwerte Stabw	<b>-1,76E-01</b> <b>4,49E-02</b>	Mittelwerte Stabw	-8,09E-02 9,29E-03
<b>Violett</b>	58C1R	-2,78E-01	<b>59C2R</b>	<b>3,94E-04</b>	60C3R	-8,33E-02

### Single sweep Voltammetrie

Tab.6.21 Parameter der Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven

Proben - nummer	$E_{Corr} / E_o$ ( Volts )	$i_o$ (Amps/cm <sup>2</sup> )	$R_p$ (Ohms/cm <sup>2</sup> )	E300 ( Volts )	$i_{E300}$ (Amps/cm <sup>2</sup> )	$E_d$ ( Volts )	Corr Rate ( mmPY )
<b>Ballot NaCl</b>							
310C1S	0,0234	8,93E-05	292	0,323	9,69E-04	0,332	2,5805
310C1S1	-0,0137	8,20E-05	318,2	0,286	6,43E-04	0,294	2,368
310C1S2	-0,0292	1,36E-04	191,5	0,27	9,62E-04	0,208	3,9345
<b>Mittelwerte Stabw</b>	<b>-0,0065</b> <b>0,027</b>	<b>1,03E-04</b> <b>2,94E-05</b>	<b>267,3</b> <b>66,9</b>	<b>0,294</b> <b>0,027</b>	<b>8,58E-04</b> <b>1,86E-04</b>	<b>0,278</b> <b>0,064</b>	<b>2,961</b> <b>0,85</b>
58C1S	-0,0611	7,95E-05	328,3	0,239	5,20E-03	0,135	2,2956
<b>Ballot Cola</b>							
35C2S	0,0229	3,66E-05	713	0,323	6,19E-04	0,151	1,0569
35C2S1	-0,0032	2,76E-05	946,4	0,297	4,00E-04	0,175	0,7963
35C2S2	-0,0430	2,45E-05	1065,7	0,257	6,06E-04	0,181	0,7071
<b>Mittelwerte</b>	<b>-0,0078</b>	<b>2,95E-05</b>	<b>908,4</b>	<b>0,292</b>	<b>5,42E-04</b>	<b>0,169</b>	<b>0,8534</b>

<b>Stabw</b>	<b>0,0332</b>	<b>6,29E-06</b>	<b>179</b>	<b>0,033</b>	<b>1,23E-04</b>	<b>0,016</b>	<b>0,182</b>
59C2S	0,2026	4,01E-05	650,5	0,503	7,38E-04	0,218	1,1586
<b>Ballot Eistee</b>							
33C3S	-0,18	2,70E-06	9649,3	0,12	9,10E-05	0,183	0,0781
33C3S1	0,0349	5,88E-06	4435	0,335	3,13E-04	0,15	0,1699
33C3S2	0,0599	6,89E-06	3783,5	0,36	3,75E-04	0,151	0,1992
<b>Mittelwerte Stabw</b>	<b>-0,0284</b>	<b>5,16E-06</b>	<b>5955,9</b>	<b>0,272</b>	<b>2,60E-04</b>	<b>0,162</b>	<b>0,1491</b>
	<b>0,132</b>	<b>2,19E-06</b>	<b>3220</b>	<b>0,132</b>	<b>1,49E-04</b>	<b>0,019</b>	<b>0,0632</b>
60C3S	0,0814	2,54E-06	10274	0,381	6,69E-04	0,166	0,0734

## Zyklische Voltammetrie

Tab.6.22 Parameter der zyklischen Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven

Farbe des Graphen	Proben - nummer	E <sub>10</sub> ( Volts )	1V – E <sub>10</sub> ( Volts )	I <sub>E = 1V</sub> ( Amps/cm <sup>2</sup> )	R ( Ω )
	<b>Ballot NaCl</b>				
<b>Schwarz</b>	310C1S	-0,05	1,05	6,00E-05	17500
<b>Rot</b>	310C1S1	0	1	1,45E-04	6896,6
<b>Grün</b>	310C1S2	0	1	1,75E-04	5714,3
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>10036,9</b> <b>6490</b>
<b>Violett</b>	58C1C	-0,1	1,1	4,60E-04	2391,3
	<b>Ballot Cola</b>				
<b>Schwarz</b>	35C2C	0	1	5,30E-05	18867,9
<b>Rot</b>	35C2C1	0,03	0,97	3,70E-05	26216,2
<b>Grün</b>	35C2C2	0	1	6,50E-05	15384,6
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>20156,3</b> <b>5530</b>
<b>Violett</b>	59C2C	0	1	2,30E-05	43478,3
	<b>Ballot Eistee</b>				
<b>Schwarz</b>	33C3C	0,05	0,95	3,35E-05	28358,2
<b>Rot</b>	33C3C1	0	1	1,80E-05	55555,6
<b>Grün</b>	33C3C2	0	1	1,70E-05	58823,5
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>47579,1</b> <b>16700</b>
<b>Violett</b>	60C3C	-0,04	1,04	3,90E-05	26666,7

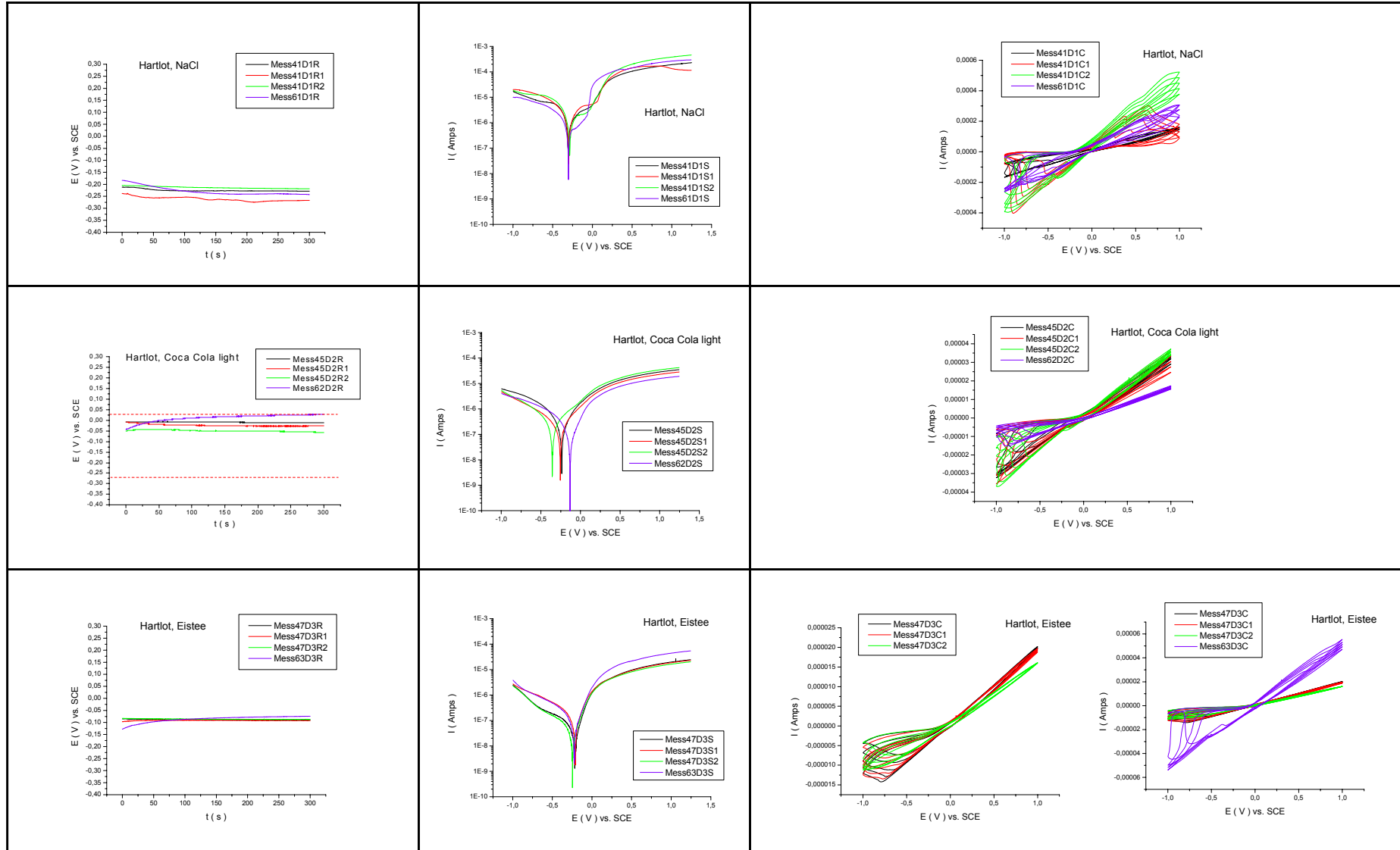
Bei einem Vergleich der Ruhepotential – Kurven der Lötverbindungen ( schwarze, rote, grüne Kurve ) gemessen in 1%iger NaCl – Lösung mit dem dazugehörigen Anlieferungszustand zeigen diese eine deutliche Verschiebung in die anodische Richtung. Die Fügestellen scheinen weniger korrosionsanfällig zu sein. Bei der Messung in Coca Cola light ist es genau umgekehrt. In Eistee besitzen alle Kurven die gleiche Potentiallage. Die genauen Messwerte sind in Tab.6.20 nachzulesen.

Wie beim Ruhepotential der NaCl – Messung erkennbar, zeigt sich auch in den Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven, dass die elektrochemische Aktivität aller drei Messpunkte ( schwarze, rote, grüne Kurve ) nach der Verarbeitung im Vergleich zum unbehandelten Material etwas reduziert ist. Auch die Ruhepotentialergebnisse in Coca Cola light bestätigen sich, wieder ist bei diesem Elektrolyten im Gegensatz zur NaCl – Messung die Aktivität nach der Verarbeitung erhöht. In Eistee jedoch weicht die einzyklische Messung etwas von den Ruhepotential – Messungen ab. Während die violette ( Anlieferungszustand ), rote ( 2.MP: K – B – D ) und grüne Kurve ( 3.MP: K – B – D ) einen ähnlichen Verlauf aufweisen, liegt die schwarze ( 1.MP: K – B – D ) weiter kathodisch, wie auch die Korrosionspotential der Tab.6.21 belegen.

Wie bereits bei den vorangegangenen NaCl – Messungen leistet das unbehandelte Material ( violette Kurve ) bei dem zyklischen Ablauf den geringsten Widerstand ( Tab.6.22 ) und auch das Verhalten der drei Messpunkte ist wieder vergleichbar. Auch die Ergebnisse in Coca Cola light bestätigen sich. Hier wird die Korrosionsanfälligkeit der Lotlegierungen durch die Verarbeitung scheinbar verringert, deshalb ist bei der Messung mit Coca Cola light ein Anstieg der Korrosionsanfälligkeit zu beobachten, vergleicht man die gelöteten Proben mit dem Ausgangszustand. Sowohl im anodischen als auch kathodischen Bereich finden sich peaks ( Umladeeffekte ), die auch bei der unbehandelten Probe ( violette Kurve ) der Eistee - Messung zu erkennen sind. Letztere ( Anlieferungszustand ) ist in ihrem Elektrolyten auch gleichzeitig die aktivste Messkurve. An allen Messpunkten findet Lochfrass statt.



Tab.6.23 Zus.stellung der Ergebnisse gemessen in 3 unterschiedlichen Elektrolyten auf 3 verschiedenen Hartlot – Fügstellen ( K – H – D )  
 ( schwarz – 1.Messpunkt, rot – 2.Messpunkt, grün – 3.Messpunkt ) sowie dem Anlieferungszustand ( violett )



## 6.6 Auswertung der Messungen auf den Hartlot – Fügstellen

Die Graphiken zu den Tabellen und den sich anschließenden Texten von den Messungen auf den Stangenlot – Fügstellen in 1% iger NaCl – Lösung, Coca Cola light und Eistee befinden sich in Tab.6.23. Wie bei den Messungen auf den bereits erwähnten Fügstellen fanden diese in jedem Elektrolyten jeweils an einer Probe statt. Der rote Pfeil der Abbildung 6.6 kennzeichnet exemplarisch die mögliche Position der Messelektrode.

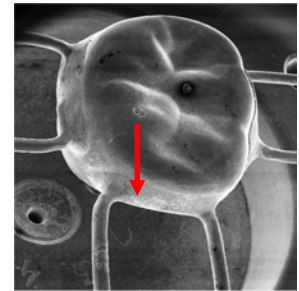


Abb.6.6 Lokaler Lückenthalter

### Ruhepotential –Messungen ( $E_{OCP}$ )

Tab.6.24 Ruhepotentiale (  $E_{OCP}$  ) vs. SCE gemessen in Volt nach 300 s

Farbe des Graphen	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )	Proben - nummer	$E_{OCP}$ ( V vs. SCE )
	Hartlot NaCl		Hartlot Cola		Hartlot Eistee	
Schwarz	41D1R	-2,29E-01	45D2R	-1,20E-02	47D3R	-8,88E-02
Rot	41D1R1	-2,67E-01	45D2R1	-2,67E-02	47D3R1	-9,25E-02
Grün	41D1R2	-2,19E-01	45D2R2	-5,78E-02	47D3R2	-8,78E-02
	Mittelwerte Stabw	-2,38E-01 2,55E-02	Mittelwerte Stabw	-3,22E-02 2,33E-02	Mittelwerte Stabw	-8,97E-02 2,47E-03
Violett	61D1R	-2,43E-01	62D2R	2,69E-02	63D3R	-7,43E-02

### Single sweep Voltammetrie

Tab.6.25 Parameter der Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven

Proben - nummer	$E_{Corr} / E_0$ ( Volts )	$I_0$ (Amps/cm <sup>2</sup> )	$R_p$ (Ohms/cm <sup>2</sup> )	$E_{300}$ ( Volts )	$I_{E 300}$ (Amps/cm <sup>2</sup> )	$E_d$ ( Volts )	Corr Rate ( mmPY )
<b>Hartlot NaCl</b>							
41D1S	-0,0637	9,91E-05	263,4	0,236	5,92E-04	0,236	2,3234
41D1S1	-0,0561	9,95E-05	262,1	0,244	6,80E-04	0,304	2,3349
41D1S2	-0,045	9,32E-05	280	0,255	7,79E-04	0,29	2,1857
<b>Mittelwerte Stabw</b>	<b>-0,0549 0,0094</b>	<b>9,73E-05 3,54E-06</b>	<b>268,5 10</b>	<b>0,245 0,009</b>	<b>6,84E-04 9,35E-05</b>	<b>0,277 0,036</b>	<b>2,2813 0,083</b>
61D1S	-0,0614	5,31E-05	491,3	0,239	3,24E-03	0,185	1,2456
<b>Hartlot Cola</b>							
45D2S	0,0035	1,25E-05	2086,7	0,304	3,21E-04	0,167	0,2932
45D2S1	-0,0143	1,09E-05	2398,1	0,286	2,08E-04	0,021	0,2552
45D2S2	-0,1152	1,19E-05	2185,4	0,185	1,74E-04	0,109	0,28

<b>Mittelwerte</b>	<b>-0,042</b>	<b>1,18E-05</b>	<b>2223,4</b>	<b>0,258</b>	<b>2,35E-04</b>	<b>0,099</b>	<b>0,2761</b>
<b>Stabw</b>	<b>0,064</b>	<b>8,24E-07</b>	<b>159</b>	<b>0,064</b>	<b>7,72E-05</b>	<b>0,073</b>	<b>0,0193</b>
62D2S	0,1094	6,46E-06	4036,5	0,409	2,93E-04	0,255	0,1516
<b>Hartlot</b>							
<b>Eistee</b>							
47D3S	0,0254	2,89E-06	9012,5	0,325	3,10E-04	0,192	0,0679
47D3S1	0,03	6,38E-06	4089,2	0,33	3,17E-04	0,137	0,1496
47D3S2	-0,0045	2,90E-06	8988,8	0,295	2,32E-04	0,169	0,0681
<b>Mittelwerte</b>	<b>0,017</b>	<b>4,06E-06</b>	<b>7363,5</b>	<b>0,317</b>	<b>2,87E-04</b>	<b>0,166</b>	<b>0,0952</b>
<b>Stabw</b>	<b>0,0187</b>	<b>2,01E-06</b>	<b>2840</b>	<b>0,019</b>	<b>4,76E-05</b>	<b>0,027</b>	<b>0,0471</b>
63D3S	0,0164	5,35E-06	4874,4	0,316	5,17E-04	0,227	0,1255

## Zyklische Voltammetrie

Tab.6.26 Parameter der zyklischen Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Kurven

Farbe des Graphen	Proben - nummer	$E_{I_0}$ ( Volts )	$1V - E_{I_0}$ ( Volts )	$I_{E=1V}$ ( Amps/cm <sup>2</sup> )	R ( $\Omega$ )
	<b>Hartlot NaCl</b>				
<b>Schwarz</b>	41D1C	0	1	1,50E-04	6666,7
<b>Rot</b>	41D1C1	0	1	1,30E-04	7692,3
<b>Grün</b>	41D1C2	-0,04	1,04	4,50E-04	2311,1
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>5556,7</b> <b>2860</b>
<b>Violett</b>	61D1C	0	1	2,60E-04	3846,2
	<b>Hartlot Cola</b>				
<b>Schwarz</b>	45D2C	0,05	0,95	3,10E-05	30645,2
<b>Rot</b>	45D2C1	0,05	0,95	3,10E-05	30645,2
<b>Grün</b>	45D2C2	0,05	0,95	3,50E-05	27142,9
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>29477,7</b> <b>2020</b>
<b>Violett</b>	62D2C	0,07	0,93	1,65E-05	56363,6
	<b>Hartlot Eistee</b>				
<b>Schwarz</b>	47D3C	0	1	2,00E-05	50000
<b>Rot</b>	47D3C1	0	1	1,80E-05	55555,6
<b>Grün</b>	47D3C2	0	1	1,60E-05	62500
	<b>Mittelwert Stabw</b>				<b>56018,5</b> <b>6260</b>
<b>Violett</b>	63D3C	0,05	0,95	5,00E-05	19000

Die Ruhepotential – Kurvenverläufe der zusammengehörigen Hartlotverbindungen ( schwarze, rote, grüne Kurven ) und ihrer Ausgangszustände ( violette Kurve ) sind nahezu identisch. Nur die Potentiallage variiert in den einzelnen Elektrolyten, ersichtlich auch aus ( Tab.6.24 ).

Bei den Strom ( I ) – Spannungs ( E ) – Messungen sind wie beim  $E_{OCP}$  ( Tab.6.25 ) wenige Unterschiede im Verlauf der Kurven vorhanden. In 1%iger NaCl – Lösung ist im Gegensatz zu den anderen beiden Elektrolyten an den Graphen ein passiver Bereich erkennbar. Die Lotstellen ( schwarze, rote, grüne Kurve ) sind etwas aktiver als die unbehandelte Probe ( violette Kurve ), gleiches gilt für die Coca Cola light – Messung.

Auch die zyklischen Messkurven weisen nur geringe Unterschiede auf. Nur die unbehandelte Probe ( violette Kurve ) der Eistee – Messung zeigt sich etwas aktiver als die entsprechenden Lotproben, deshalb ist eine zweite Abbildung erforderlich ( Tab.6.26 ). Deutlich sichtbar sind bei der NaCl – Messung sowohl im anodischen wie kathodischen Bereich die Umladeprozesse in Form von peaks. Man findet sie ferner im kathodischen Bereich der Coca Cola light – und der Eistee – Kurven.

Der kongruente Verlauf aller Hartlot – Kurven spiegeln erneut die gute Reproduzierbarkeit der Messungen mit dem Mini – Cell – System wider.

## 6.7 Präsentation der Rasterelektronenmikroskop – und

### Lichtmikroskopaufnahmen

Von einigen Platzhaltern wurden stichprobenartig Rasterelektronenmikroskopaufnahmen gemacht, um die während der Messung stattgefundenen elektrochemischen Prozesse bildlich festzuhalten. Diese bereits mit bloßem Auge sichtbaren Veränderungen verdeutlichen anschaulich die Bildung von Korrosionsprodukten ( Abb.6.7 ), Lochfraß ( Abb.6.7 ) sowie die Ablagerung von NaCl – Kristallen ( Abb.6.8 ).

Auch in der lichtmikroskopische Fotostudie, die über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr ( 487 Tage ) zunächst wöchentlich, später in größeren Abstände von gelaserten bzw. gelöteten Verbindungsstellen erstellt wurde, zeigen sich diese korrosiven Veränderungen ( Abb.6.10 ) sowie farbigen Ablagerungen ( Abb.6.9 ) an den Legierungsoberflächen.

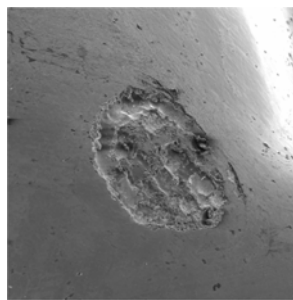


Abb.6.7 Lochfraß auf der Krone nach Messung mit NaCl – Lösung ( Probe 11 )

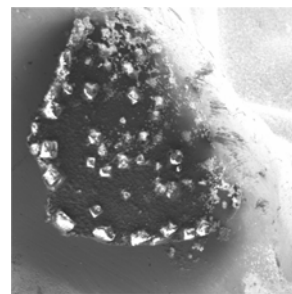


Abb.6.8 Korrosion mit Ablagerung von NaCl – Kristallen auf der Krone ( Probe 41 )

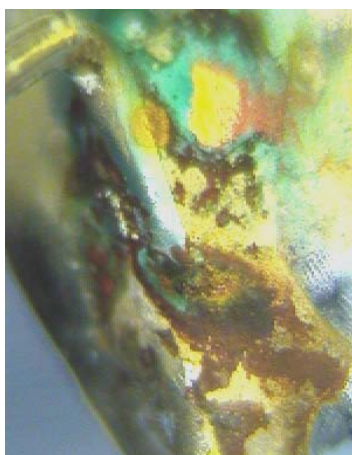


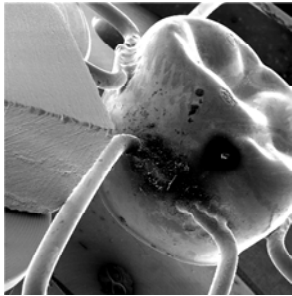
Abb.6.9 Farbige Ablagerungen von Korrosions – produkten auf dem Stangenlot nach 487 Tagen Lagerung in NaCl – Lösung ( Probe 24 )



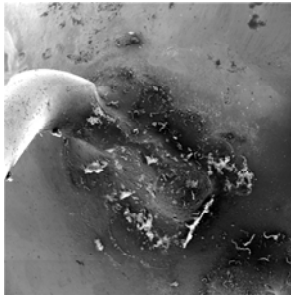
Abb.6.10 Korrosive Veränderungen mit Lochfraß beim Hartlot nach 487 Tagen Lagerung in Coca Cola light ( Probe 46 )

# Rasterelektronenmikroskopaufnahmen

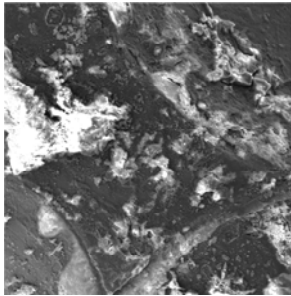
## Gelaserte Probe gemessen mit NaCl ( Probe 11 )



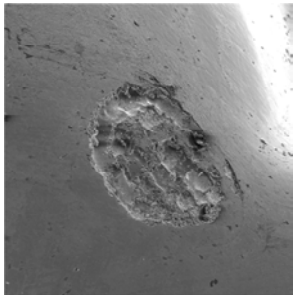
10 – fach



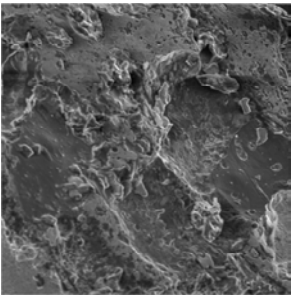
40 – fach



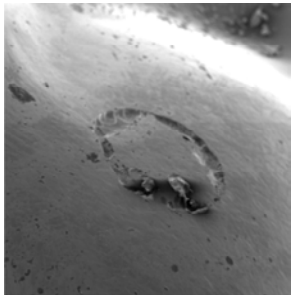
250 – fach



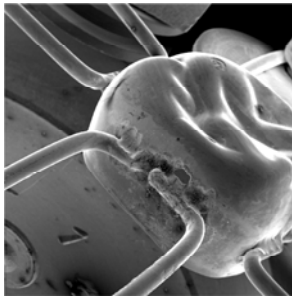
20 – fach



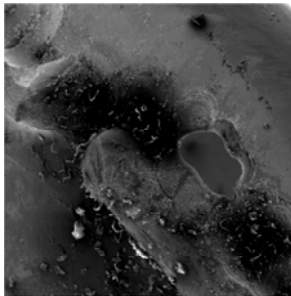
250 – fach



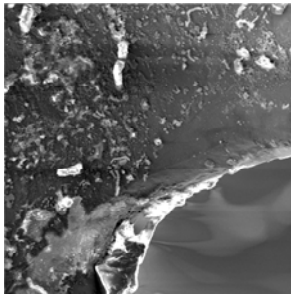
20 – fach



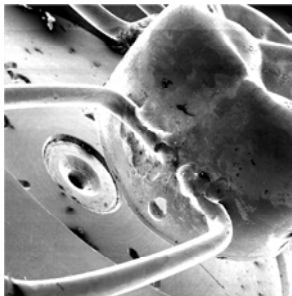
10 – fach



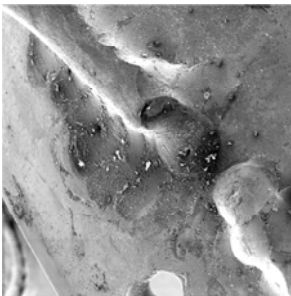
40 – fach



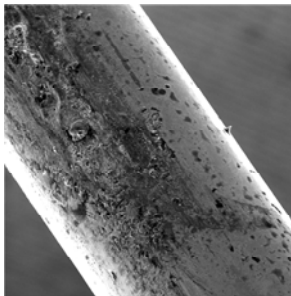
250 – fach



10 – fach



50 – fach

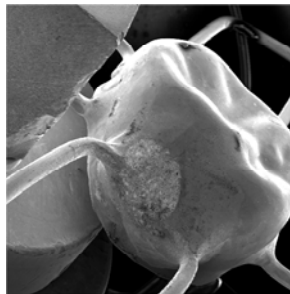


100 – fach

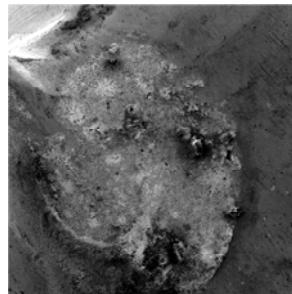


250 – fach

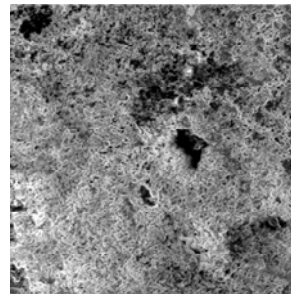
**Stangenlotprobe gemessen mit NaCl ( Probe 210 )**



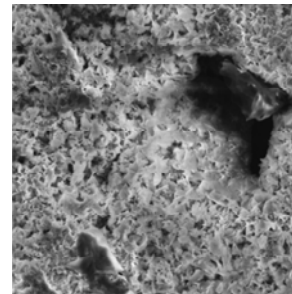
10 – fach



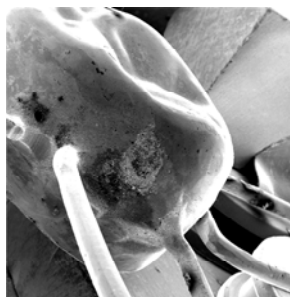
40 – fach



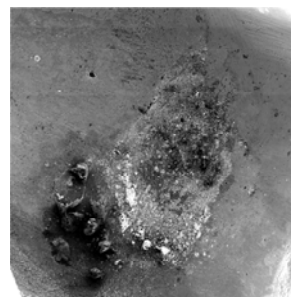
250 – fach



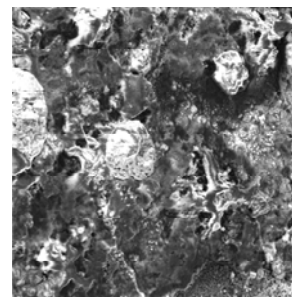
500 – fach



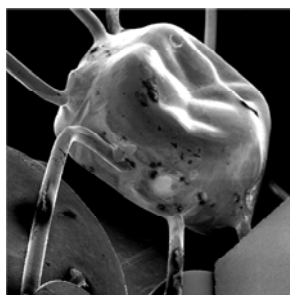
10 – fach



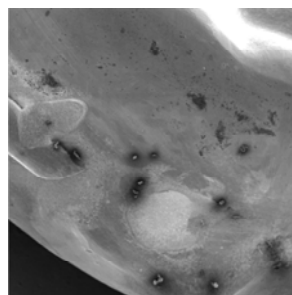
40 – fach



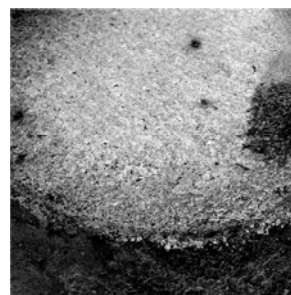
250 – fach



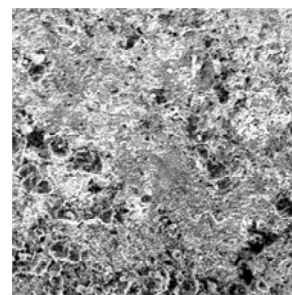
8 – fach



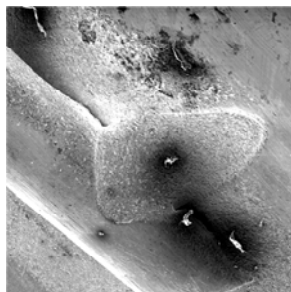
30 – fach



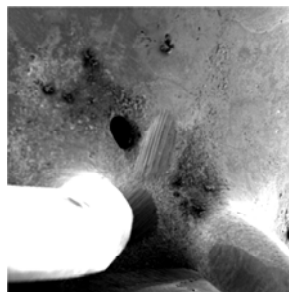
250 – fach



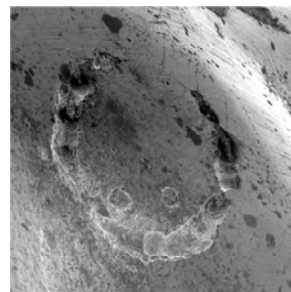
500 – fach



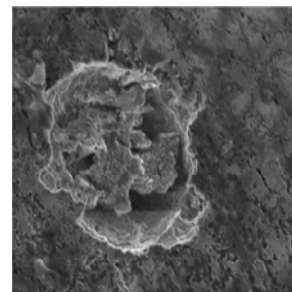
60 – fach



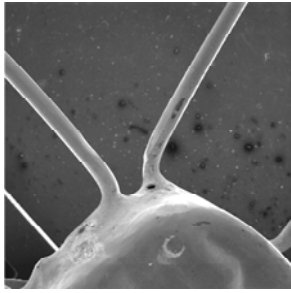
40 – fach



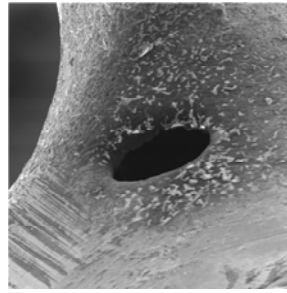
80 – fach



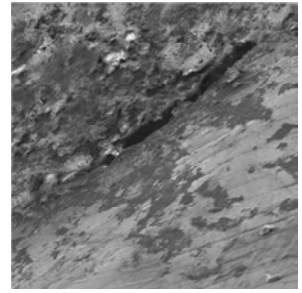
250 – fach



10 – fach

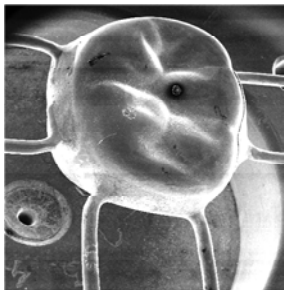


80 – fach

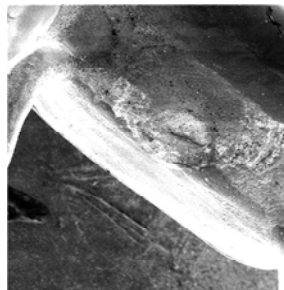


250 – fach

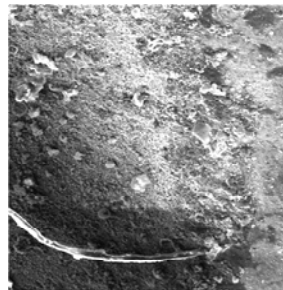
**Ballotprobe gemessen mit NaCl ( Probe 310 )**



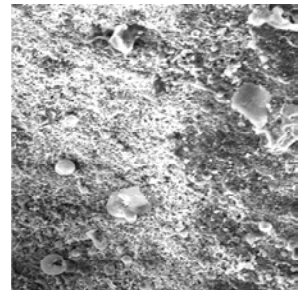
8 – fach



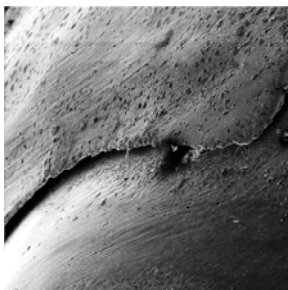
20 – fach



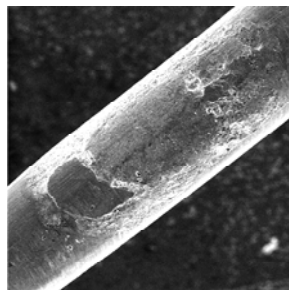
250 – fach



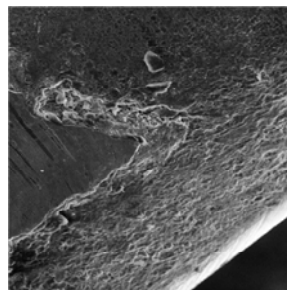
500 – fach



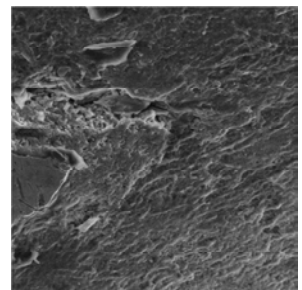
70 – fach



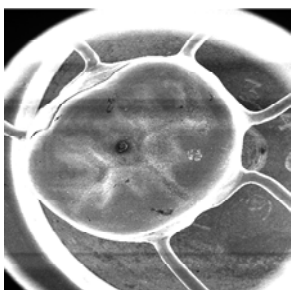
60 – fach



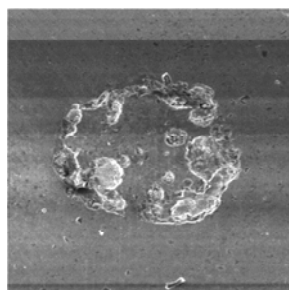
250 – fach



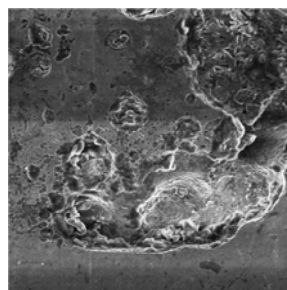
500 – fach



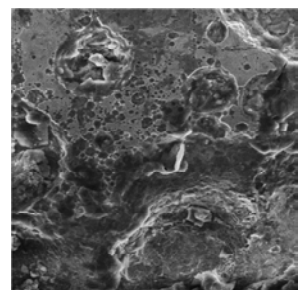
8 – fach



80 – fach



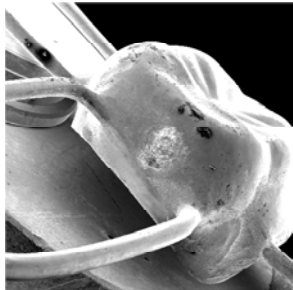
250 – fach



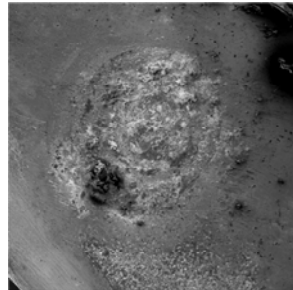
500 – fach



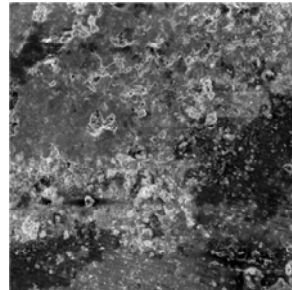
**Hartlotprobe gemessen mit NaCl ( Probe 41 )**



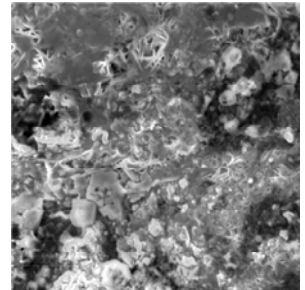
10 – fach



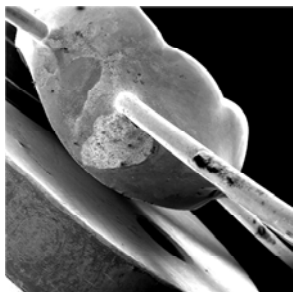
40 – fach



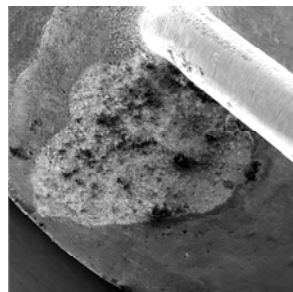
250 – fach



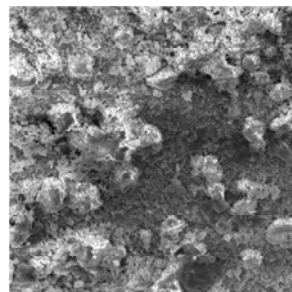
500 – fach



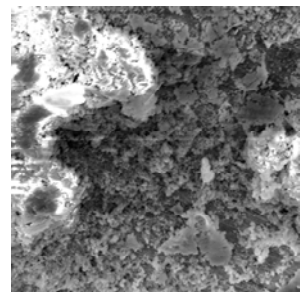
10 – fach



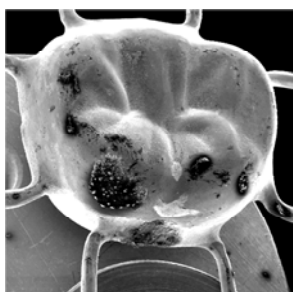
40 – fach



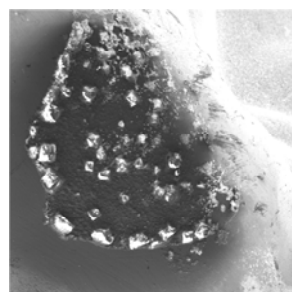
250 – fach



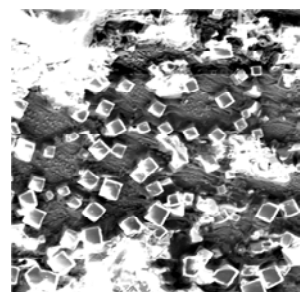
500 – fach



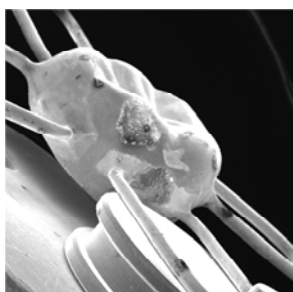
10 – fach



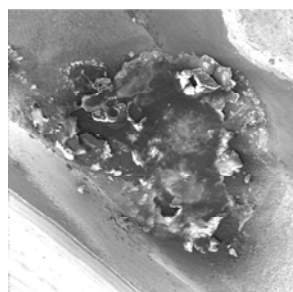
40 – fach



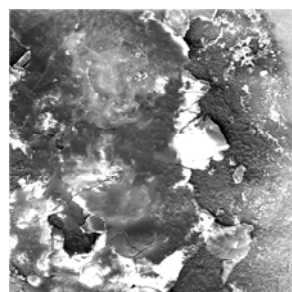
250 – fach



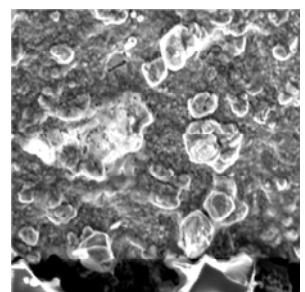
6 – fach



80 – fach



250 – fach



500 – fach

**Chronologische Präsentation der Lichtmikroskopaufnahmen**  
**Gelasserte Probe in NaCl – Lösung ohne Putzen ( Probe 15 )**



1.Tag



7.Tag



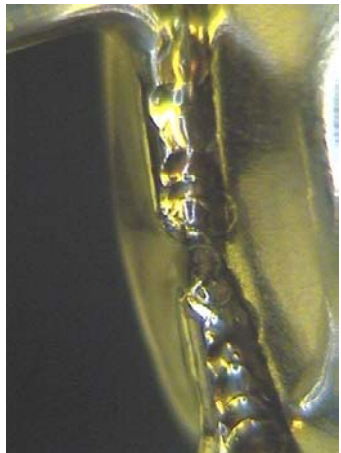
14.Tag



23.Tag



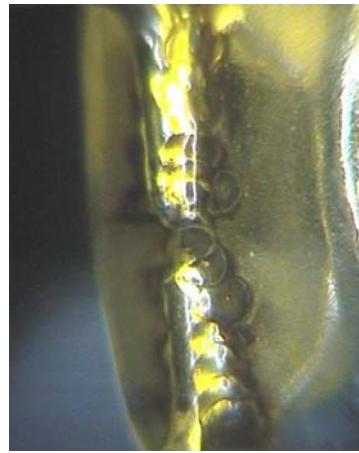
28.Tag



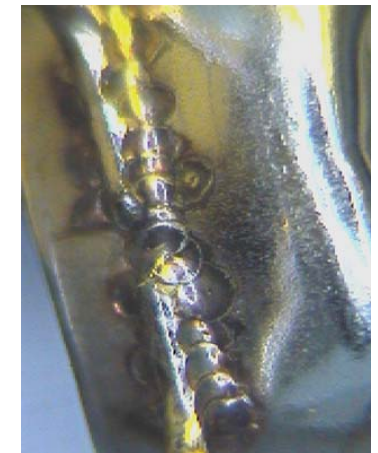
39.Tag



46.Tag

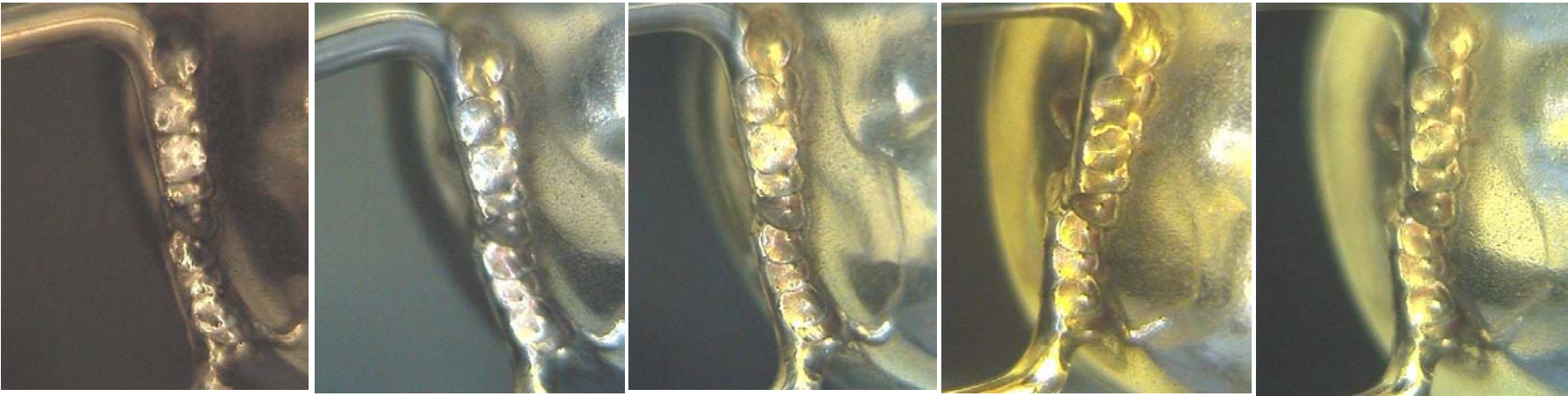


123.Tag



487.Tag

**Gelaserte Probe in Coca Cola light ohne Putzen ( Probe 18 )**



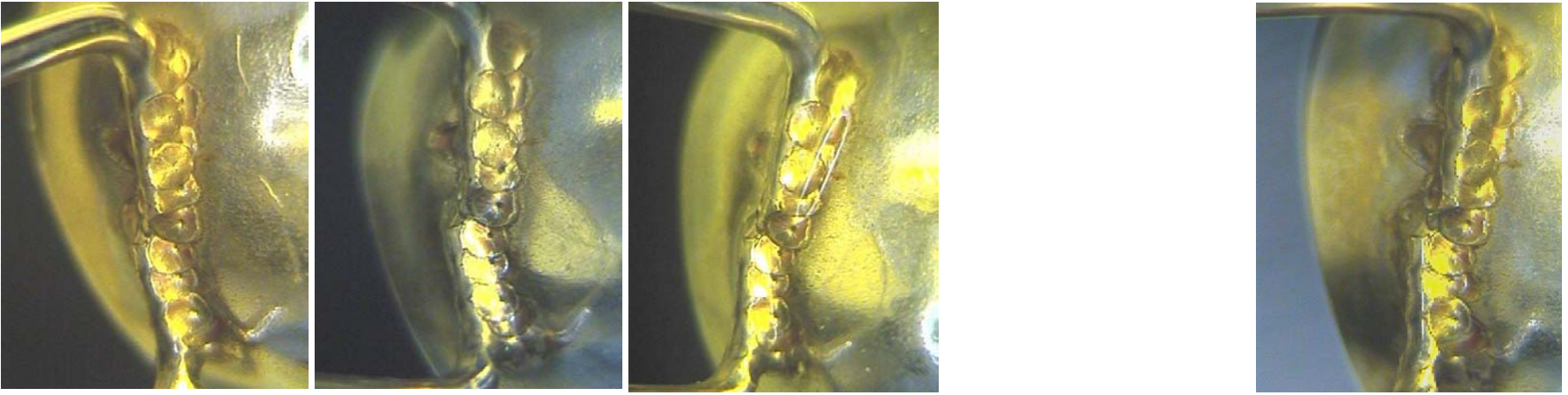
1.Tag

7.Tag

14.Tag

23.Tag

28.Tag



39.Tag

46.Tag

123.Tag

487.Tag

**Gelaserte Probe in Coca Cola light mit Putzen ( Probe 110 )**



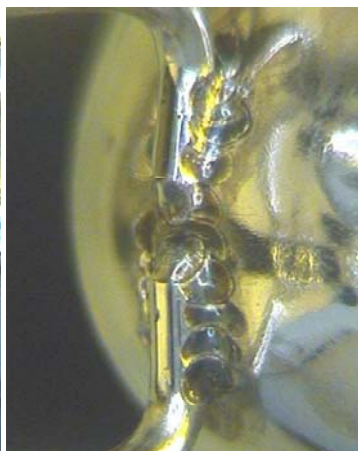
1.Tag



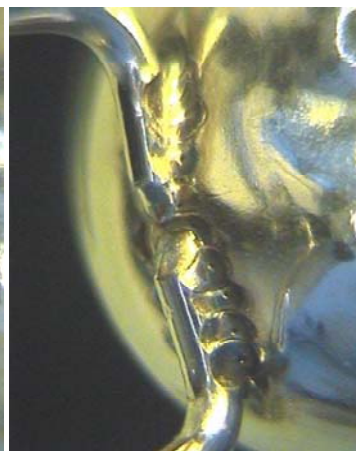
7.Tag



14.Tag



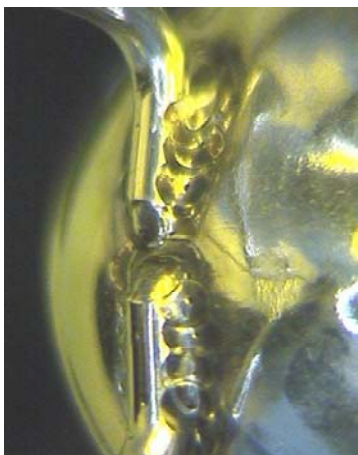
23.Tag



28.Tag



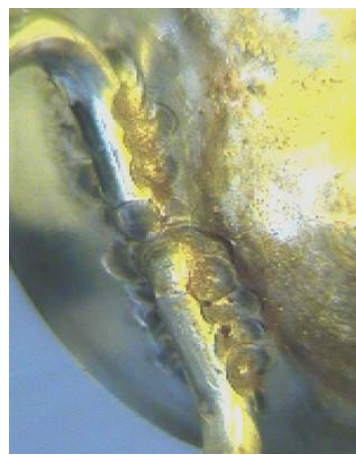
39.Tag



46.Tag



123.Tag



487.Tag

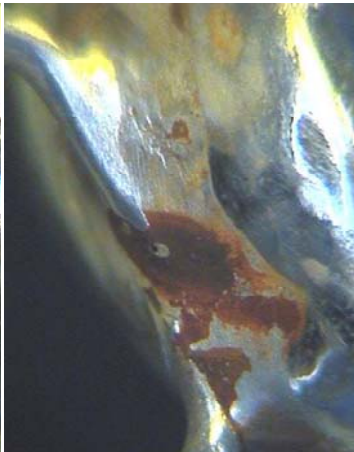
**Stangenlot – Probe in NaCl – Lösung ohne Putzen ( Probe 24 )**



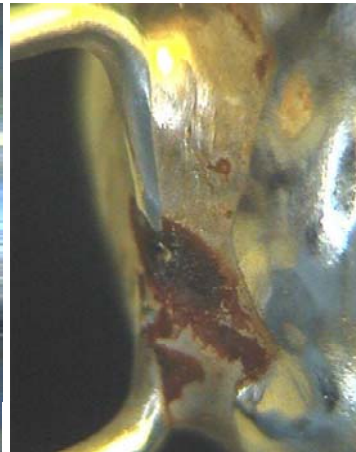
1.Tag



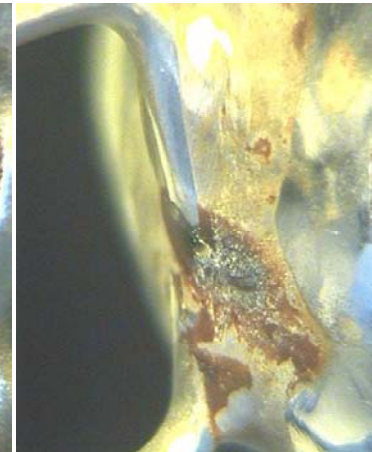
7.Tag



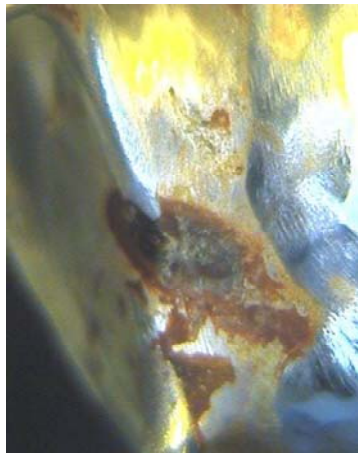
14.Tag



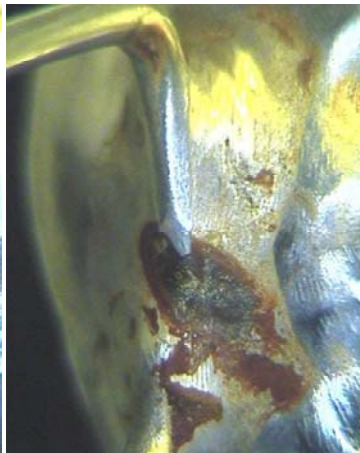
23.Tag



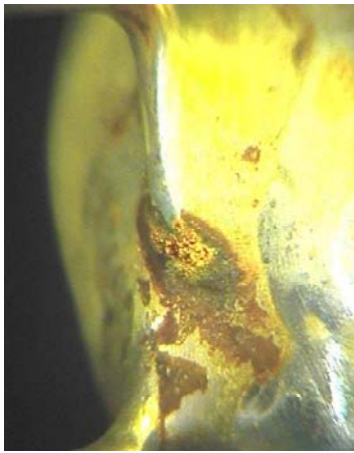
28.Tag



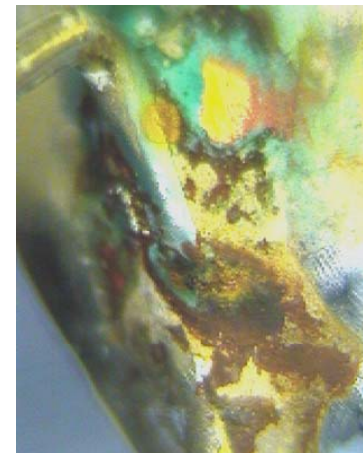
39.Tag



46.Tag



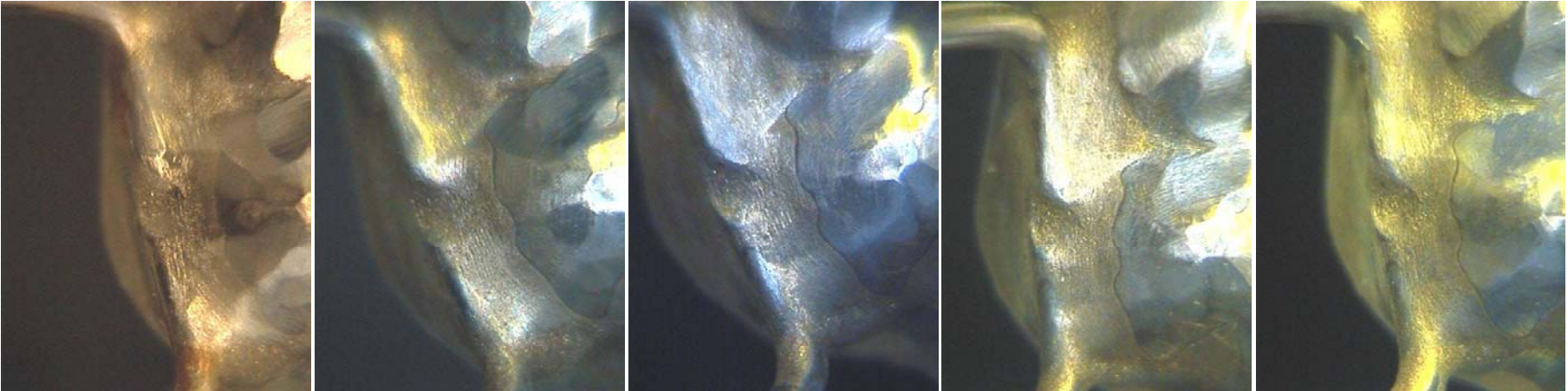
123.Tag



487.Tag

**Stangenlot – Probe in Coca Cola light ohne Putzen ( Probe 26 )**

98



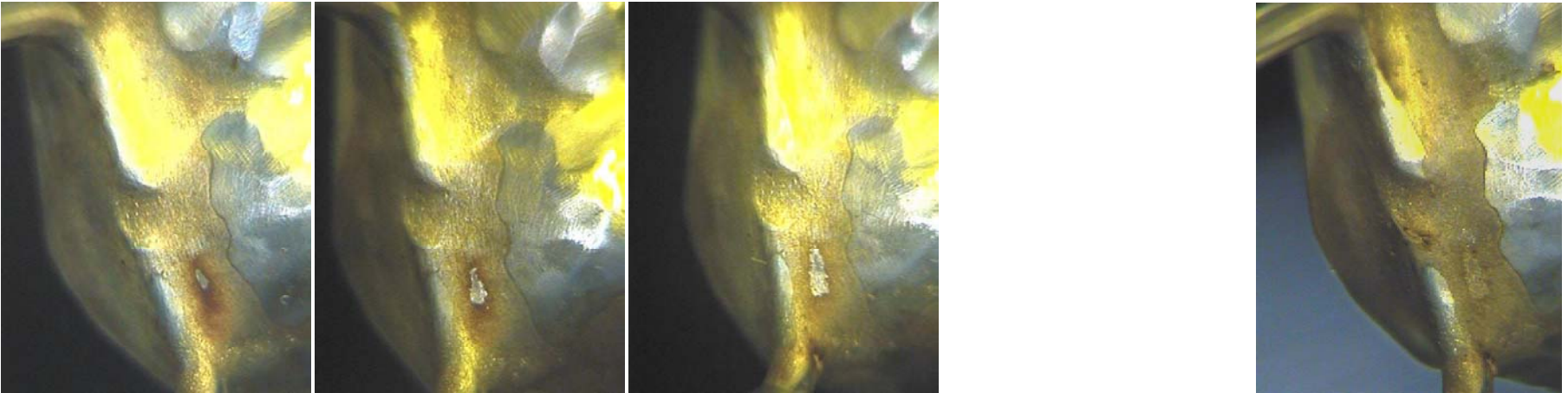
1.Tag

7.Tag

14.Tag

23.Tag

28.Tag



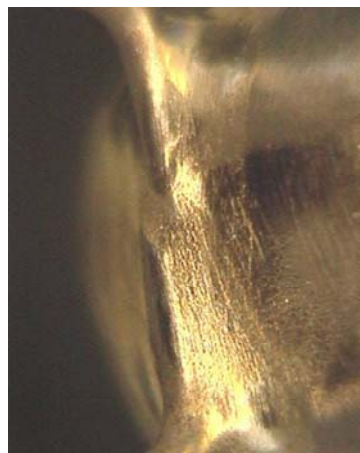
39.Tag

46.Tag

123.Tag

487.Tag

**Stangenlot – Probe in Coca Cola light mit Putzen ( Probe 28 )**



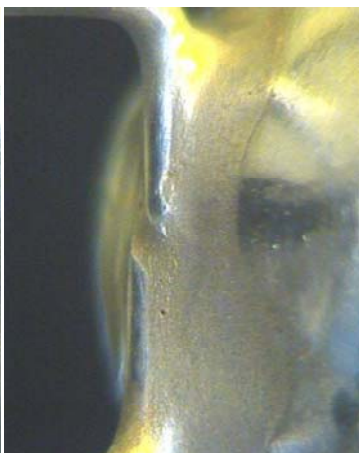
1.Tag



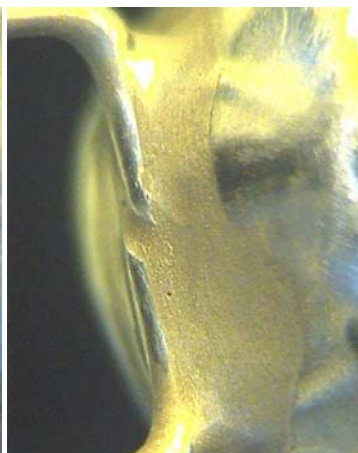
7.Tag



14.Tag



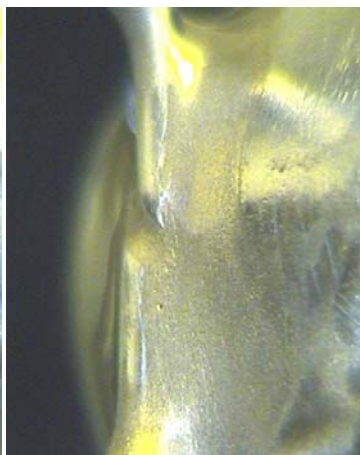
23.Tag



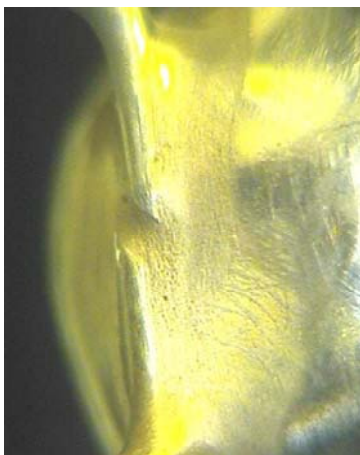
28.Tag



39.Tag



46.Tag

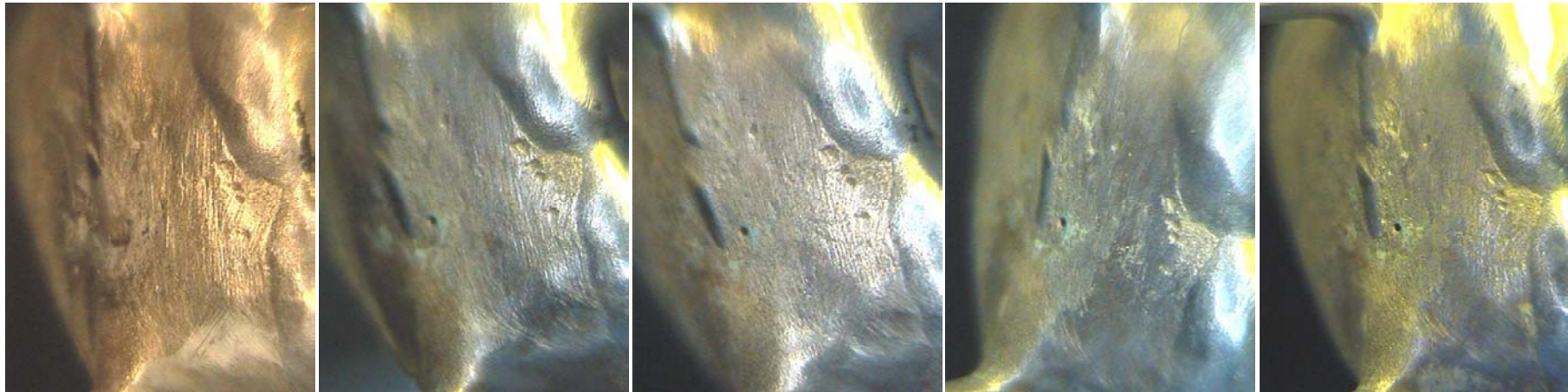


123.Tag



487.Tag

**Ballot – Probe in NaCl – Lösung ohne Putzen ( Probe 31 )**



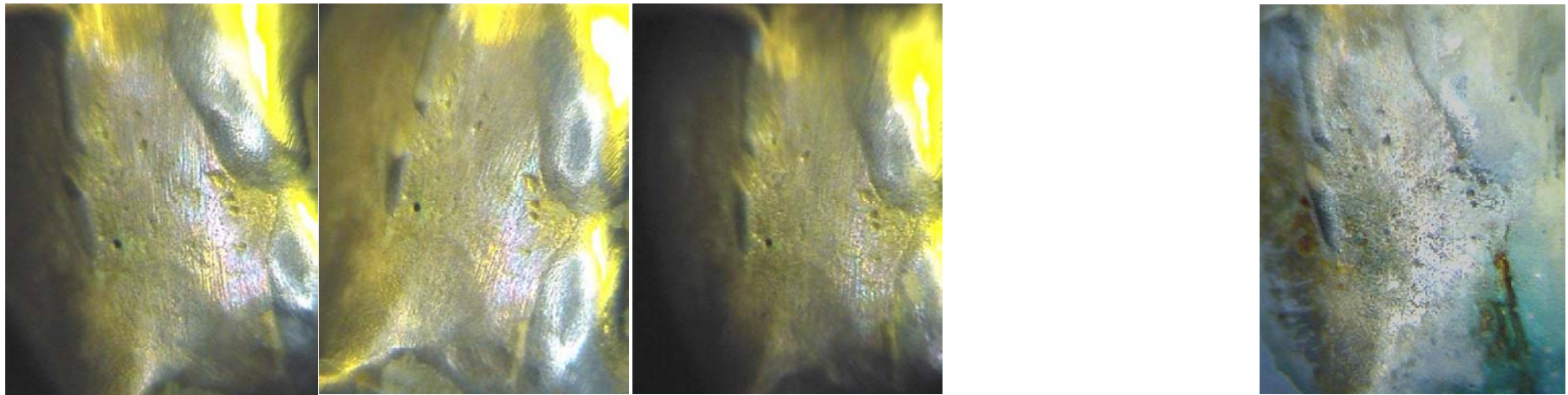
1.Tag

7.Tag

14.Tag

23.Tag

28.Tag



39.Tag

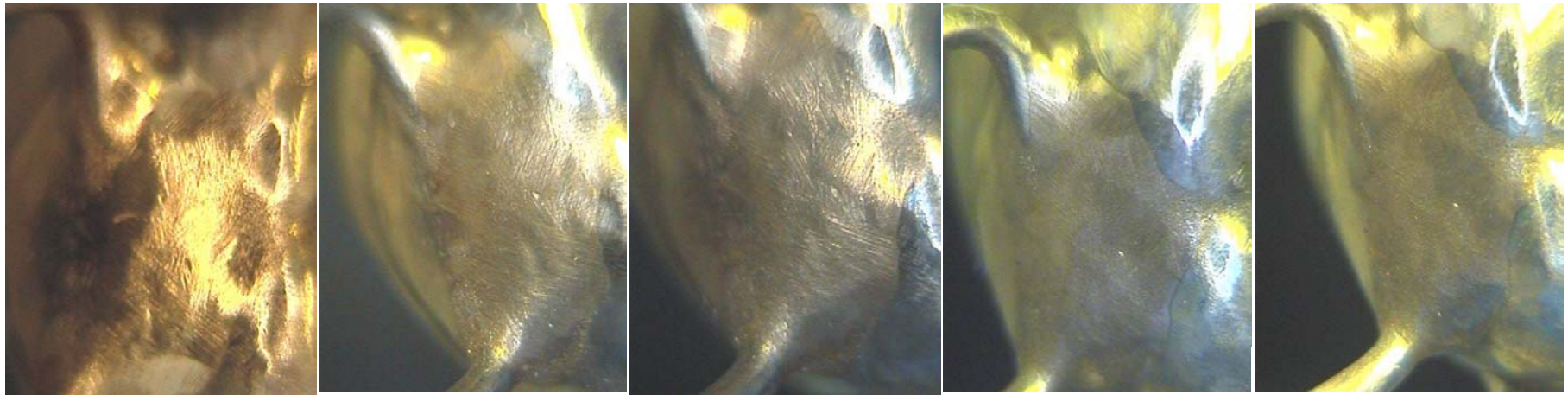
46.Tag

123.Tag

487.Tag



**Ballot – Probe in Coca Cola light ohne Putzen ( Probe 32 )**



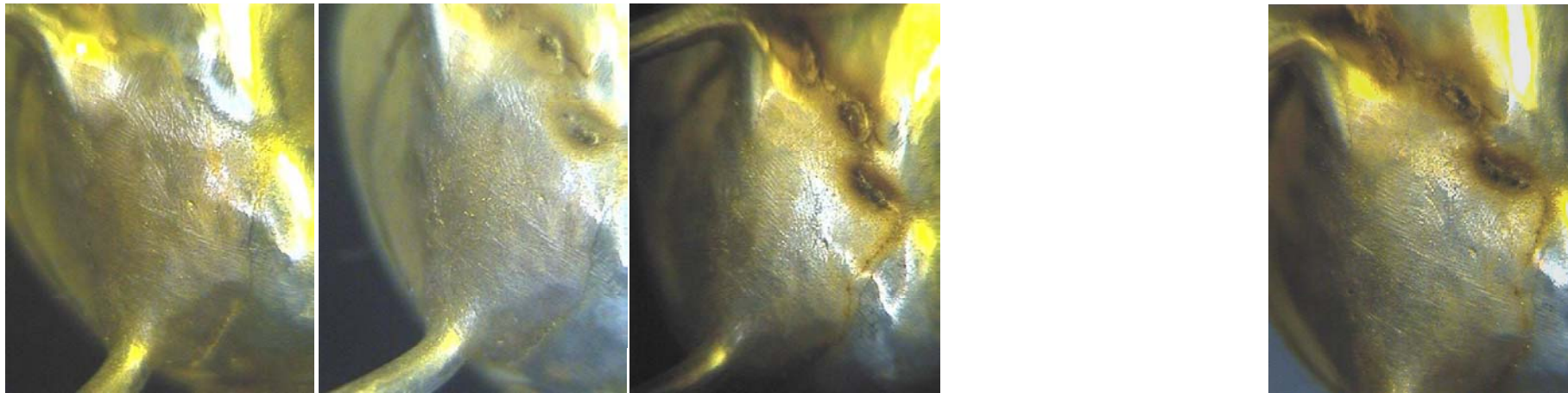
1.Tag

7.Tag

14.Tag

23.Tag

28.Tag



39.Tag

46.Tag

123.Tag

487.Tag

**Ballot – Probe in Coca Cola light mit Putzen ( Probe 38 )**

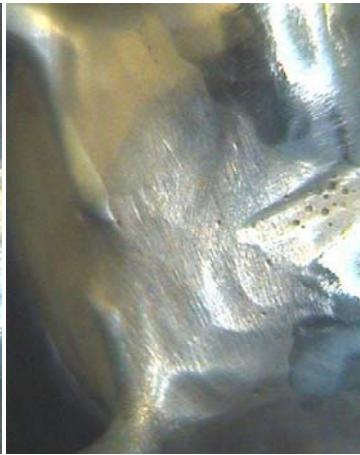
06



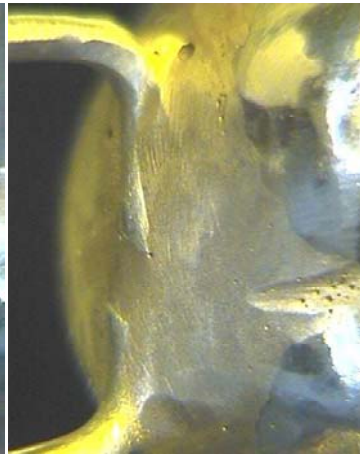
1.Tag



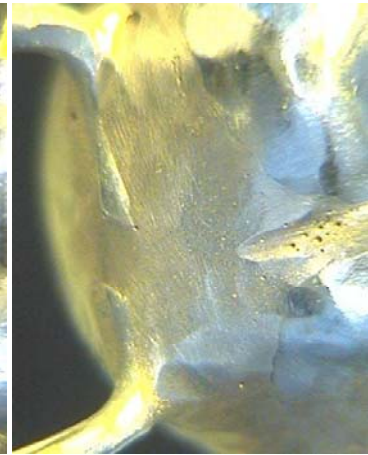
7.Tag



14.Tag



23.Tag



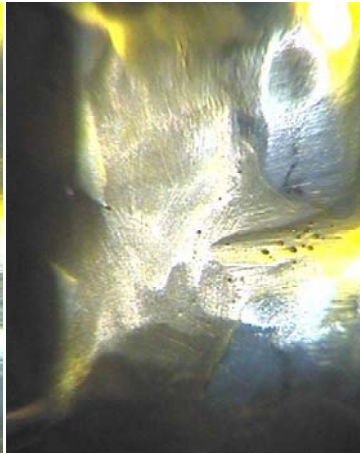
28.Tag



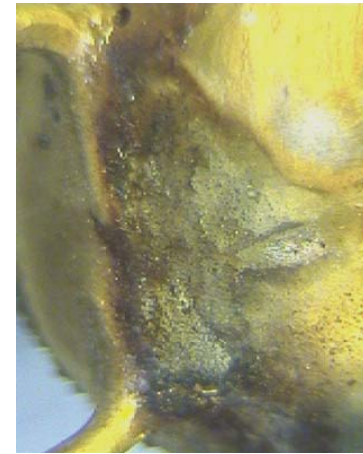
39.Tag



46.Tag

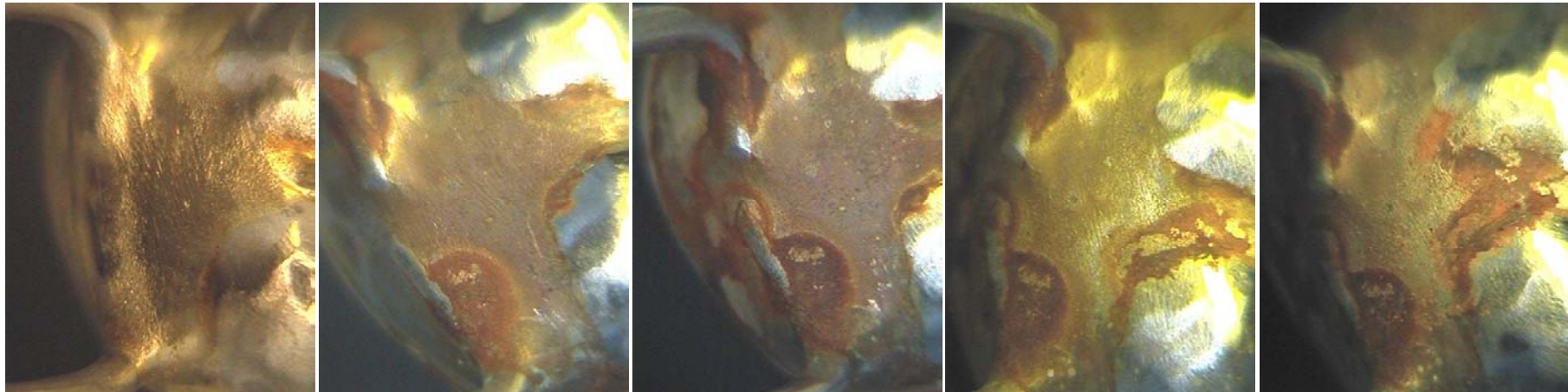


123.Tag



487.Tag

**Hartlot – Probe in NaCl – Lösung ohne Putzen ( Probe 42 )**



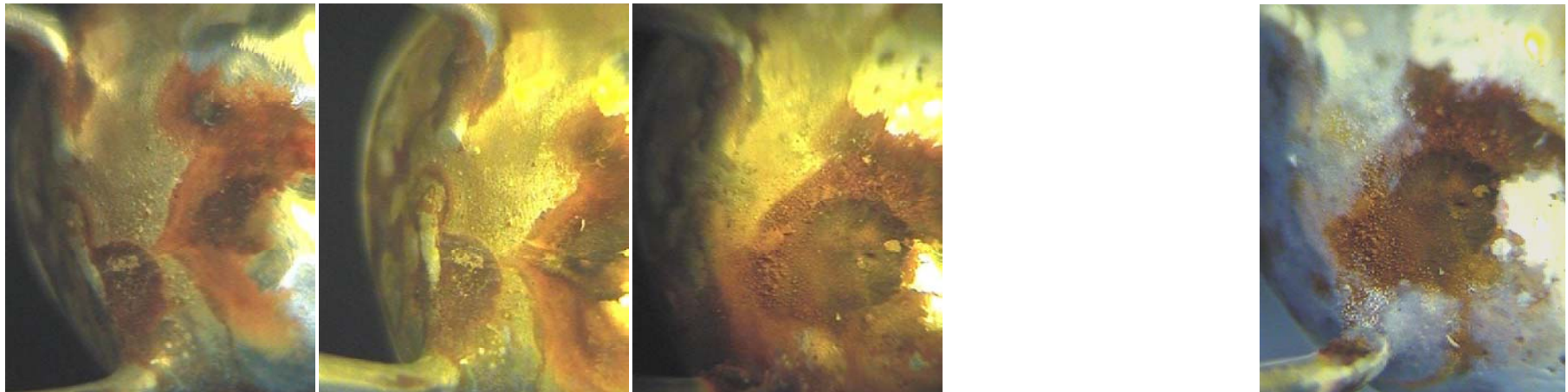
1.Tag

7.Tag

14.Tag

23.Tag

28.Tag



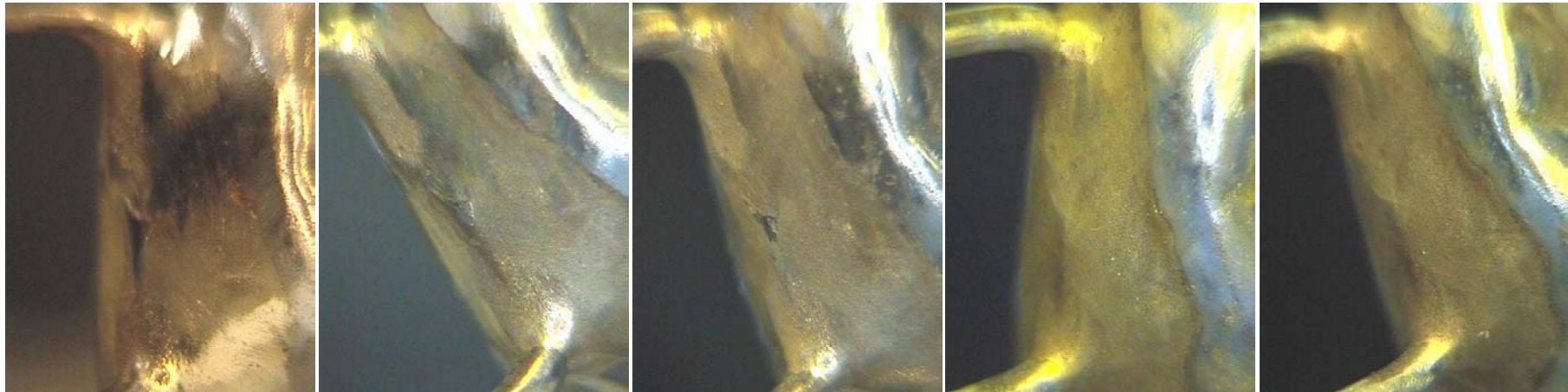
39.Tag

46.Tag

123.Tag

487.Tag

**Hartlot – Probe in Coca Cola light ohne Putzen ( Probe 44 )**



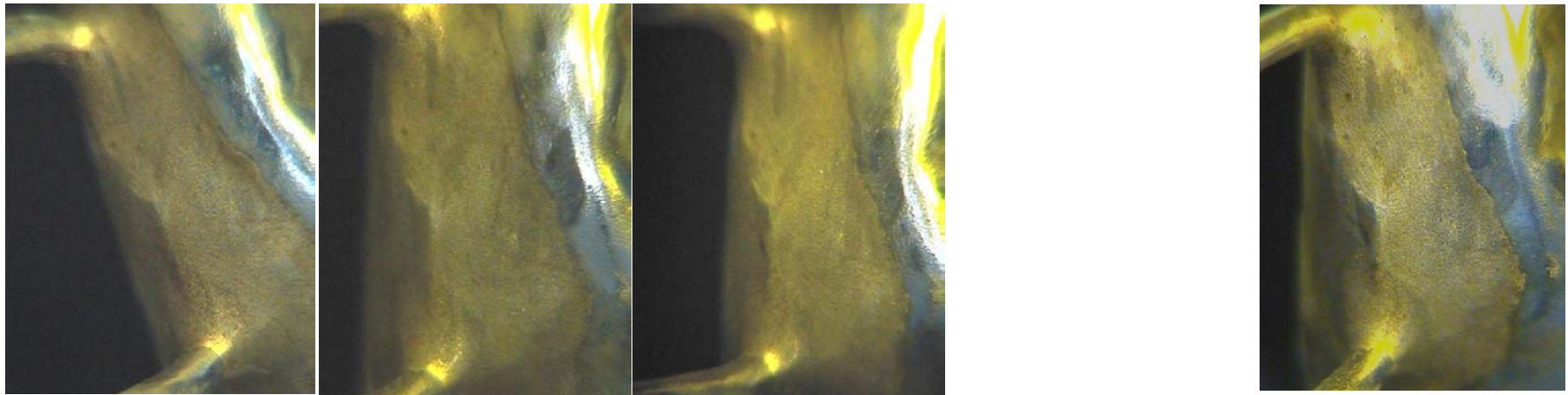
1.Tag

7.Tag

14.Tag

23.Tag

28.Tag



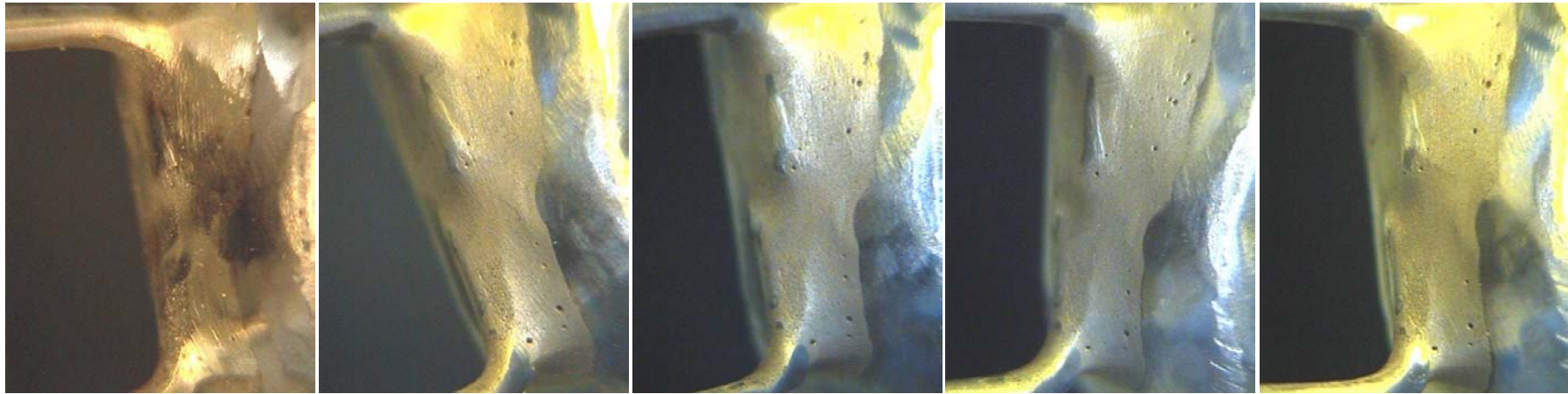
39.Tag

46.Tag

123.Tag

487.Tag

**Hartlot – Probe in Coca Cola light mit Putzen ( Probe 46 )**



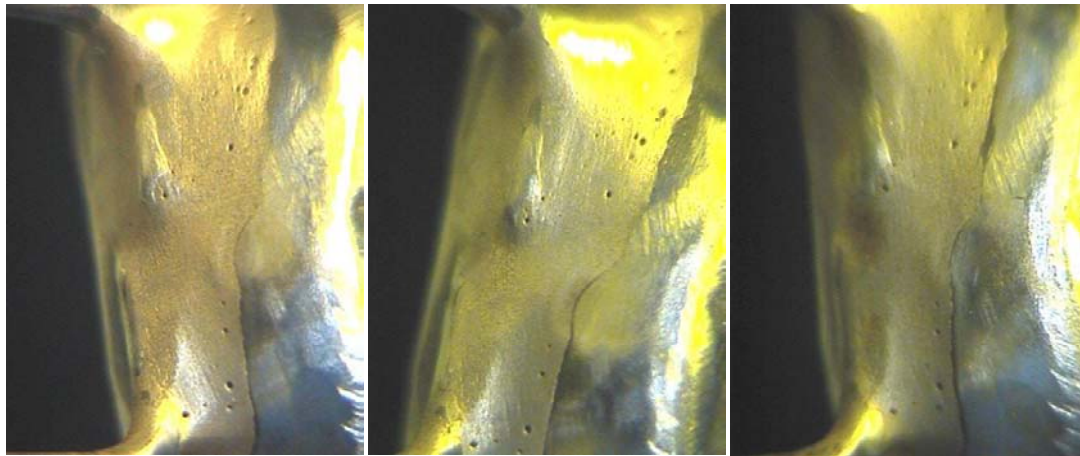
1.Tag

7.Tag

14.Tag

23.Tag

28.Tag



39.Tag

46.Tag

123.Tag



487.Tag