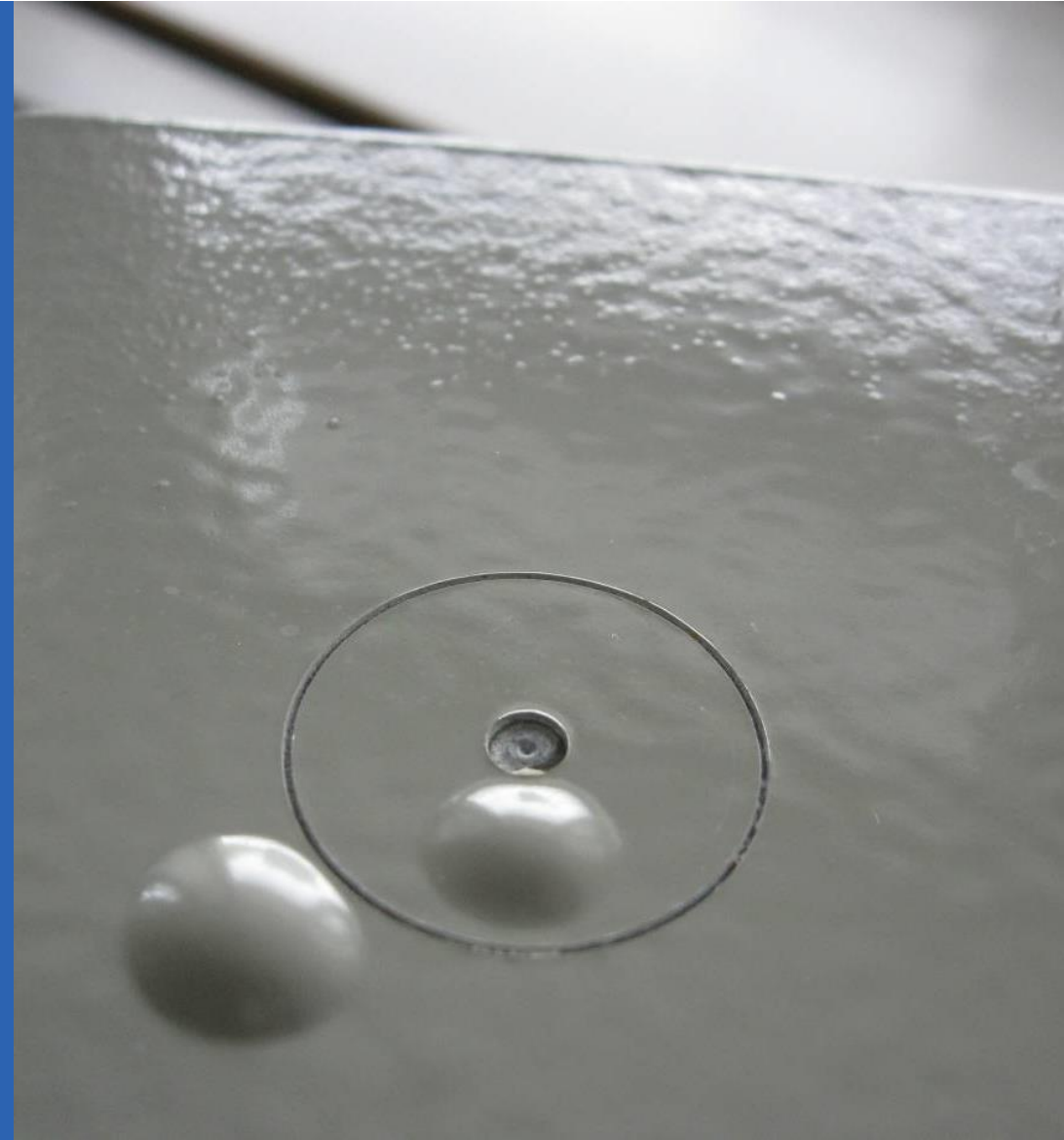


Beschichtungsprüfung unter KKS-Bedingungen

GfKORR Jahrestagung 2023

Berlin, 07. November 2023



Inhalt

1. Einleitung
2. Beschichtungsschäden durch KKS
3. Regelwerke und Prüfmethoden
4. KKS-Prüfung nach BAW-Standard
5. Zusammenfassung

Beschichtung oder KKS – am besten beides (?)

- In der Praxis werden verschiedene Korrosionsschutzstrategien angewandt
 - Beschichtung
 - Metallisierung
 - Kathodischer Korrosionsschutz
 - (nichtrostender Stahl)
- Die Kombination verschiedener Strategien verspricht erhöhte Sicherheit
- Beschichtung + KKS
 - Beschichtung dient dem primären Schutz
 - KKS zur Ergänzung an Beschichtungsschäden und zur Kompensation von nichtrostendem Stahl
- Aber: KKS kann Schäden an Beschichtungen verursachen

Inhalt

1. Einleitung
- 2. Beschichtungsschäden durch KKS**
3. Regelwerke und Prüfmethoden
4. KKS-Prüfung nach BAW-Standard
5. Zusammenfassung

KKS im Stahlwasserbau

- Typische Einsatzgebiete von KKS im Stahlwasserbau
 - Große Schutzflächen: Kanalbrücken



Kanalbrücke Rednitz

KKS im Stahlwasserbau

- Typische Einsatzgebiete von KKS im Stahlwasserbau
 - Große Schutzflächen: Kanalbrücken
 - Kompensation von nichtrostendem Stahl: Schleusentore und Wehre



Verschluss mit Anoden

KKS im Stahlwasserbau

- Typische Einsatzgebiete von KKS im Stahlwasserbau
 - Große Schutzflächen: Kanalbrücken
 - Kompensation von nichtrostendem Stahl: Schleusentore und Wehre
 - Korrosive Umgebung: Offshore-Windanlagen



Bildquelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Offshore-Windenergie-Anlagen

Beschichtungsschäden durch KKS



Beispiel: Beschichtungsschäden an einer Kanalbrücke

- Kanalbrücke, ca. 220 m lang und 36 m breit
- Beschichtung: 50 μm EP-Zn + 450 μm EP
- 20 Magnetit-Anoden



Beispiel: Beschichtungsschäden an einer Kanalbrücke

- Kanalbrücke, ca. 220 m lang und 36 m breit
- Beschichtung: 50 µm EP-Zn + 450 µm EP
- 20 Magnetit-Anoden
- Schadensbild nach 4/5 Jahren:
 - Abplatzungen der Beschichtung, initiiert durch Blasenbildung
 - Blasen teilweise mit Flüssigkeit gefüllt (pH=8,9)
 - Vermehrtes Auftreten in Trogmitte



Beschichtungsschaden durch Blasenbildung und Abplatzung

Inhalt

1. Einleitung
2. Beschichtungsschäden durch KKS
- 3. Regelwerke und Prüfmethoden**
4. KKS-Prüfung nach BAW-Standard
5. Zusammenfassung

Regelwerke und Prüfmethoden für KKS-Prüfung

▪ DIN EN ISO 15711 (2005) – Verfahren A

- 3x 1 Probe 150 x 75 x 2 mm + 3 Kontrollproben
- $-1,025 \pm 5$ mV vs. NHE
- künstliche Fehlstelle kreisförmig 10,0 mm bis zum Stahl

▪ Prüfbedingungen

- luftdurchströmtes, künstliches Meerwasser, 23 ± 2 °C
- Wasseraustausch durch Überlaufen (Komplettwechsel in max. 3 Tagen) oder Vollwechsel alle max. 7 Tage
- Dauer: mind. 26 Wochen (ca. 5,5 Monate)

▪ Bewertung

- Haftfestigkeit: Abhebeln nach Querschnitt an der künstlichen Fehlstelle
- Keine Grenzwerte in Norm festgelegt

▪ Verfahren B mit galvanischen Anoden

- 2x 2 Proben 300 x 150 x 2 mm + 2 Kontrollproben
- Zn-Anoden, -1.015 ± 5 mV vs. NHE
- künstliche Fehlstelle 3 mm Bohrung bis zum Stahl

Anwendung ISO 15711

- **DIN EN ISO 12944-9** verwendet Prüfung nach ISO 15711, Verfahren A
 - Immersionskategorie CX und Im4
 - 4200 h (25 Wochen)
 - künstliche Fehlstelle 6 mm Durchmesser
- **Bewertung**
 - 2 von 3 Platten müssen die Vorgabe erfüllen
 - Max. abgelöste Fläche von 20 mm äq. Durchmesser
 - Keine Vorgaben zu Blasen
- **Offshore: Norsok M-501 (2002)**
 - Prüfung der kathodischen Enthaftung nach ISO 12944
 - Weitere Verfahren für > 50 °C



Prüfplatte nach ISO 15711

Regelwerke und Prüfmethoden für KKS-Prüfung

■ ASTM G8 (Rohre)

- Probengröße und –anzahl frei wählbar
- -1,12 bis -1,22 mV vs. NHE
- 1/3 künstliche Fehlstellen kreisförmig mit 3·Beschichtungsstärke bis zum Stahl

■ Prüfbedingungen

- Trinkwasser mit 1 Massen-% NaCl, Na₂SO₄, Na₂CO₃, 23 ± 2 °C,
- Dauer: 30 Tage oder nach Vorgabe
- Mg-Anode oder Fremdstrom

■ Bewertung

- Haftfestigkeit: Abhebeln nach Kreuzschnitt an der künstlichen Fehlstelle
- Optische Auffälligkeiten

■ ASTM G95 (Variation für Aufsatzzelle, flache Probe)

- Verletzung: 0,125 inch Durchmesser
- Wasser: Deionisiert mit 3 Massen-% NaCl
- -2,68 V vs. NHE
- 90 Tage

■ NACE TM0115

- 3 Proben
- Verletzung: 0,125 inch Durchmesser
- Wasser: Deionisiert mit 3 Massen-% NaCl
- -1,18 V vs. NHE
- Dauer: 28 Tage oder nach Vorgabe

TABLE 1 Main features of the most common CDT methods

Method	<i>E</i> (mV vs. SCE)	Solution	Time (days)	<i>T</i> (°C)	pH	<i>I</i>	Cl ₂ control (anode isolating glass)
AS3862 ^a	Intensiostatic 3 mA	3% NaCl	Multiple choices	Multiple choices	-	3 mA	Required
ASTM G8 ^d	-1420	ASW	30-60-90	23	>10	-	-
ASTM G42	-1420	ASW	60	23	>10	To be monitored	/
ASTM G95	-2920	ASW	90	23	To be monitored	To be monitored	Required
BS EN 10289	-1500	3% NaCl	2	60	6-9	/	/
			28	23			
BS EN 12068	-1420	3% NaCl	28	25	/	/	/
CSA Z-245 ^d	-1500	3% NaCl	28	20	7	-	/
EN ISO 15711	-1050	ASW	182	23	6	/	/
ISO 21809-1	-1500	3% NaCl	28	23	6-9	/	/
			1	65			
MSC.215(82)	Zn anode	Cyclic immersion in ASW or NSW	182	35	/	/	/
NACE TM0115-2015	-1420	3% NaCl	28	20-25	To be monitored once a week	To be monitored	Required

Note: (-) the parameter is not mentioned in the literature reference that speaks about the standard; (/) the parameter is not mentioned in the standard.

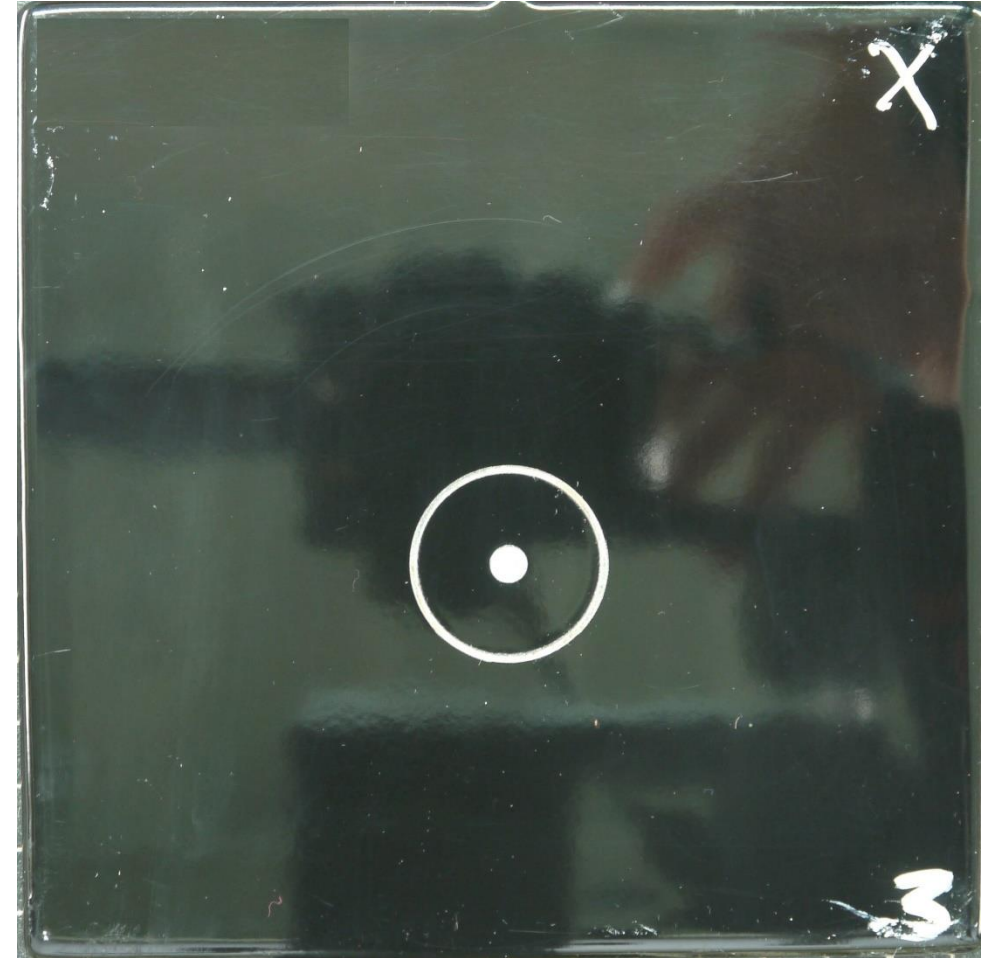
Abbreviations: ASW, artificial seawater; NSW, natural seawater; -, the parameter is not mentioned in the literature that speaks about the standard; /, the parameter is not mentioned in the standard; SCE, saturated calomel electrode.

Quelle: Benedetti et al., Materials and Corrosion. 2022;73:1943–1953

Regelwerke und Prüfmethoden für KKS-Prüfung

■ BAW RPB*

- 6 Proben 150 x 150 x 4 mm
 - 9 Monate Meerwasser
 - 12 Monate Meerwasser
 - 15 Monate Meerwasser
 - 15 Monate Meerwasser unverletzt
 - 15 Monate Meerwasser ohne KKS
 - 15 Monate Brackwasser
- -910 ± 5 mV vs. NHE
- künstliche Fehlstelle kreisförmig 5,0 mm und 1,0 mm mit Durchmesser 30,0 mm bis zum Stahl

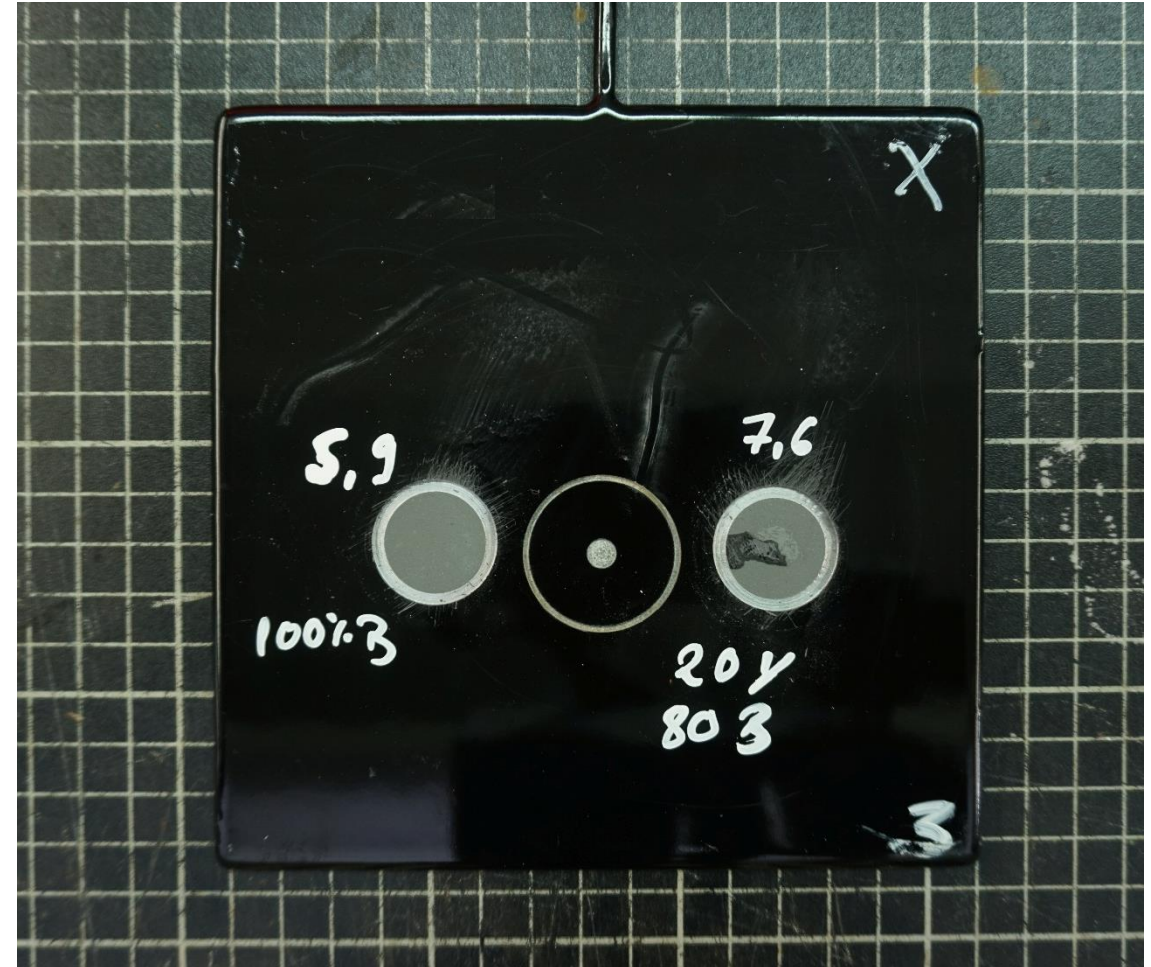


Prüfplatte nach BAW RPB

*BAWRichtlinie: Prüfung von Beschichtungssystemen für den Korrosionsschutz im Stahlwasserbau

Regelwerke und Prüfmethoden für KKS-Prüfung

- **BAW RPB**
- Prüfbedingungen
 - luftdurchströmtes, künstliches Meer- bzw. Brackwasser (DIN 50905), 23 ± 2 °C
 - Überwachung der Wasserparameter
 - Dauer 15 Monate
- Bewertung
 - Haftfestigkeit: $\geq 1,5$ MPa (≥ 5 MPa bei A/B)
 - Blasen: 0 (S0)
 - Unterwanderung ≤ 10 mm
 - Keine Bewertung des Bereichs um Verletzung und Rand



Prüfplatte nach BAW RPB

Anwendung RPB BAW

- Stahlwasserbau, Liste der zugelassenen Systeme (BAW)
- Offshore: vgbe/BAW-Standard
 - Teil 2 (2023) – Anforderungen an KS-Systeme
 - Verwendet Methode nach RPB
 - Abwandlung: Probenzahl, Bewertung (grundsätzlich ≥ 5 MPa)



vgbe/BAW-Standard

Korrosionsschutz von
Offshore-Bauwerken zur
Nutzung der Windenergie

Teil 2: Anforderungen an Korrosionsschutzsysteme

VGBE-S-021-02-2023-05-DE
4. Ausgabe 2023
(vormals VGB-S-021-02-2018-04-DE)



Vgbe-BAW Standard Offshore (Ausgabe 2023)

Inhalt

1. Einleitung
2. Beschichtungsschäden durch KKS
3. Regelwerke und Prüfmethoden
- 4. KKS-Prüfung nach BAW-Standard**
5. Zusammenfassung

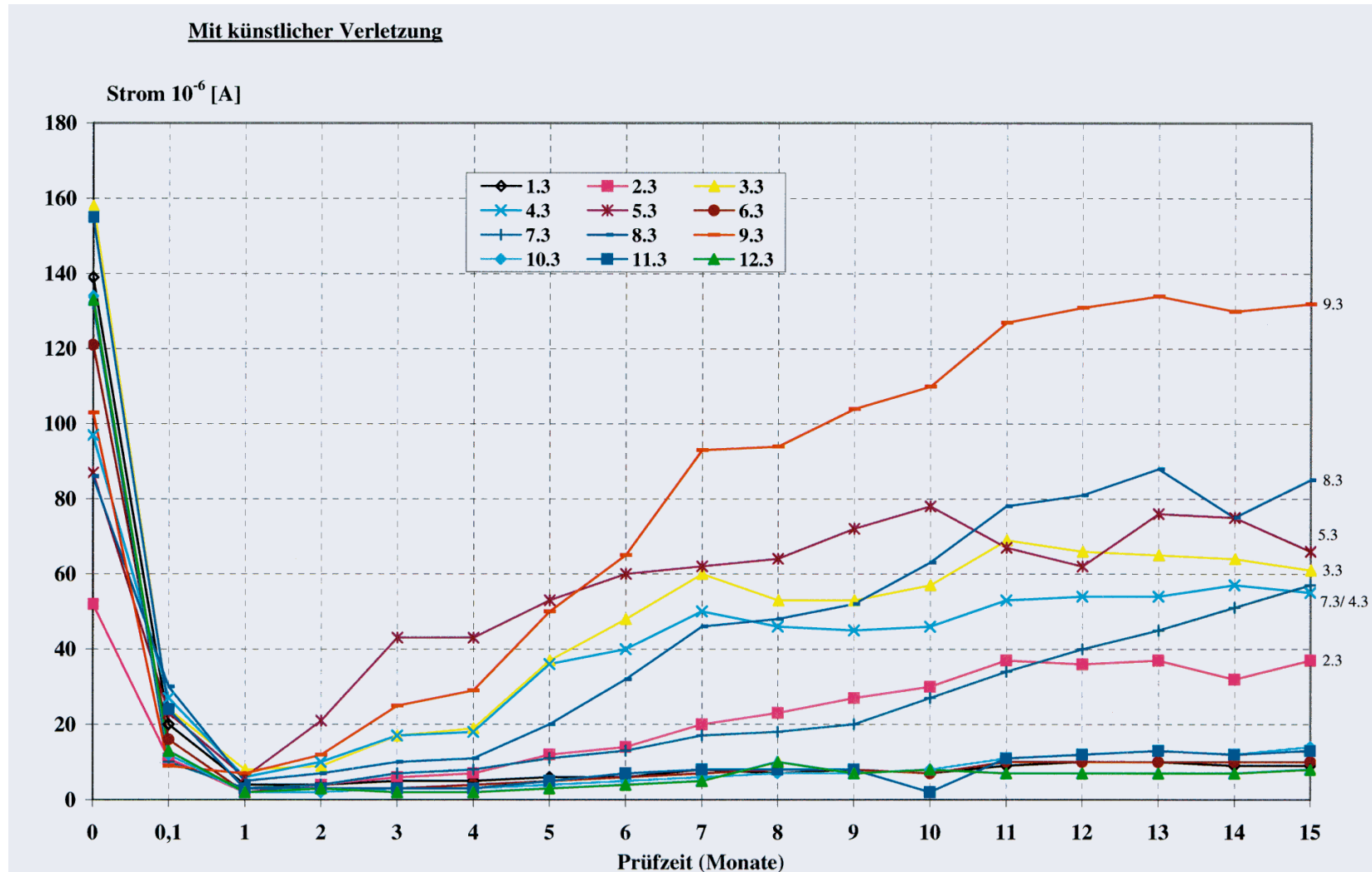
Prüfaufbau der BAW

- 2 Becken mit Salzwasser
- 1 Becken mit Brackwasser
- Potential-/Stromanschluss für jede Probe
- 1 Gegenelektrode (MMO)
- 1 Becken mit Salzwasser (Referenz) pro Becken
- 15 Monate, -910 ± 5 mV vs. NHE



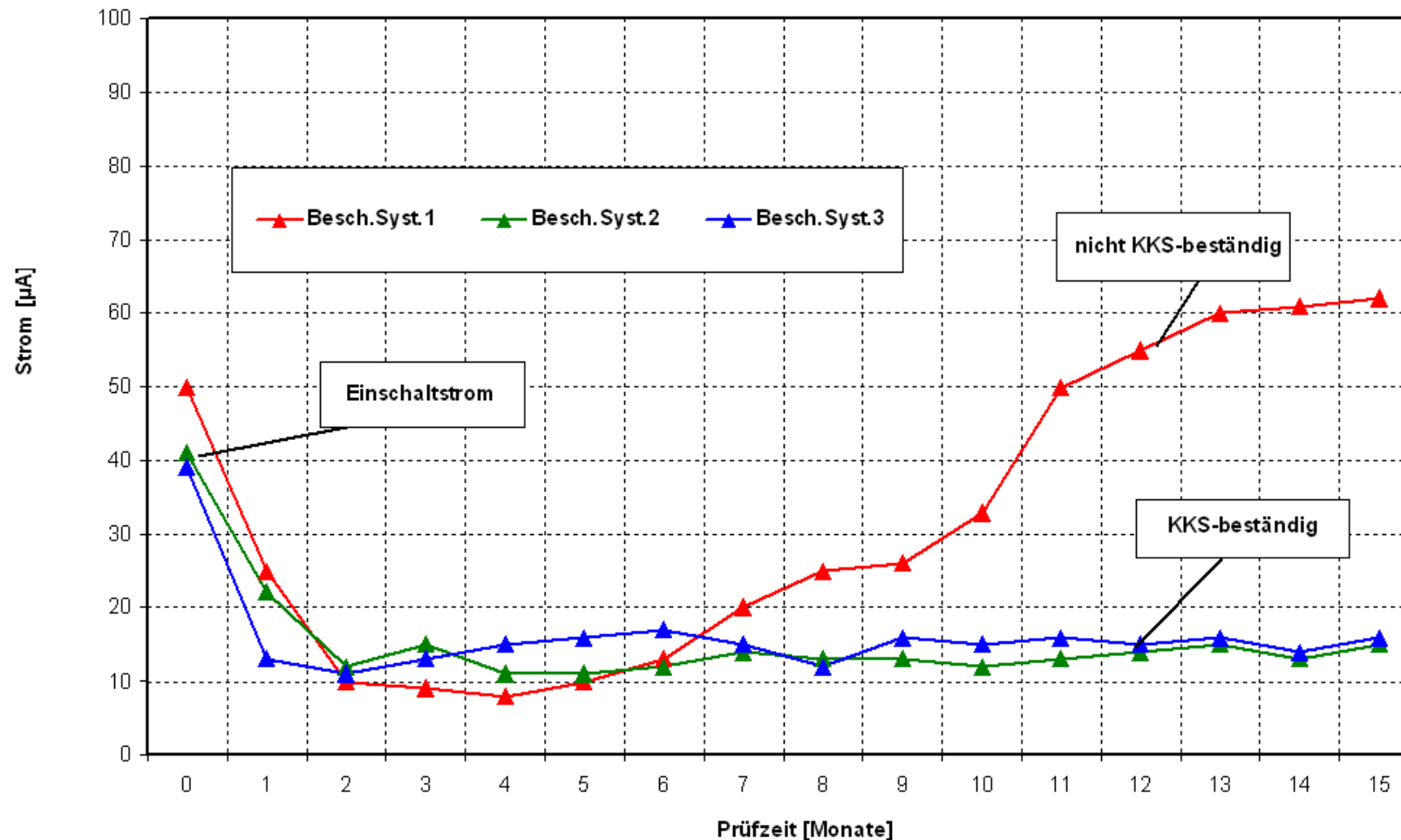
KKS-Versuchsbecken der BAW

Prüfergebnisse der BAW (alter Stand)



Prüfergebnisse der BAW (alter Stand)

Schutzstrombedarf von Beschichtungen beim KKS-Test in Meerwasser



Ergebnisse der Prüfungen 2017-2023

- 32 Prüfungen (12 Hersteller)
- 26 tauglich / 6 nicht tauglich

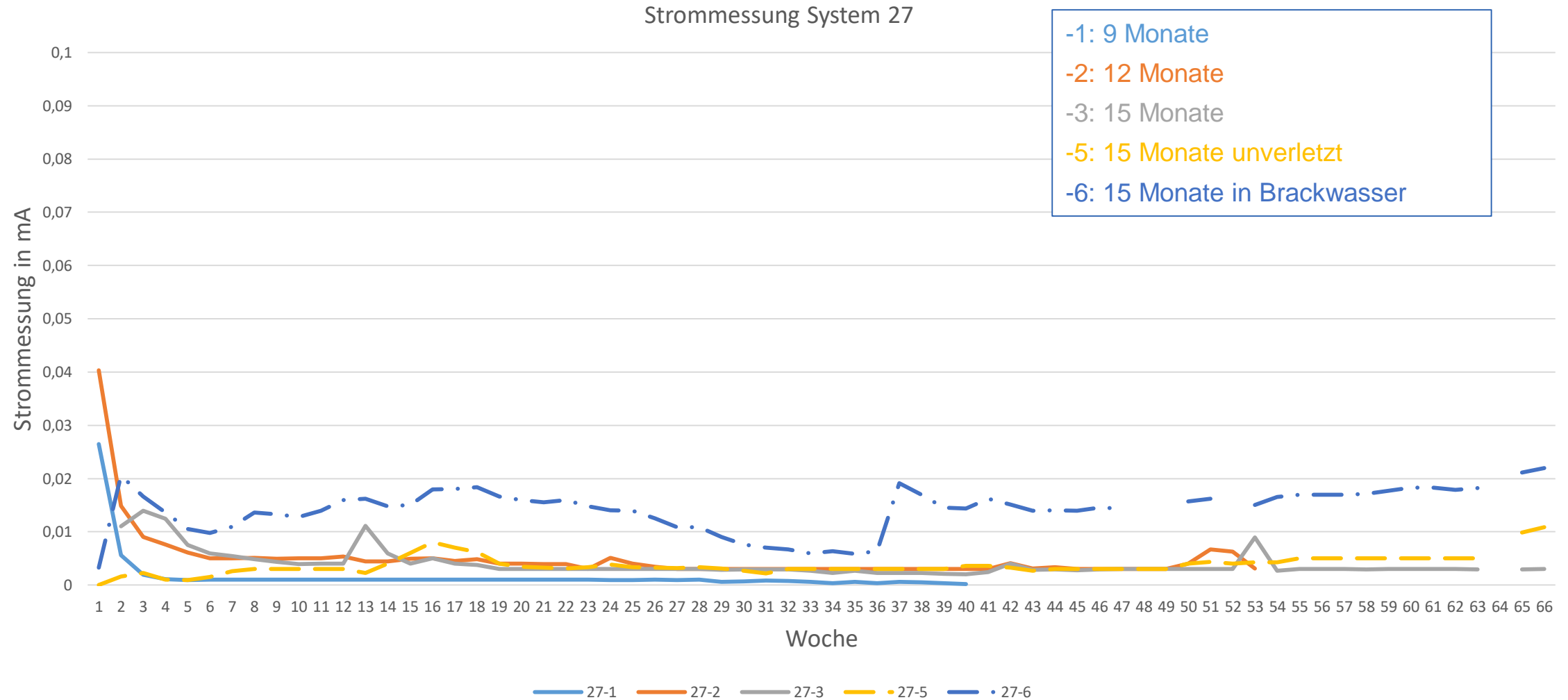
Probenzuordnung

1: 9 Monate	5: 15 Monate ohne Verletzung
2: 12 Monate	
3: 15 Monate	6: 15 Monate Brackwasser
4: 15 Monate ohne Strom (Referenz)	

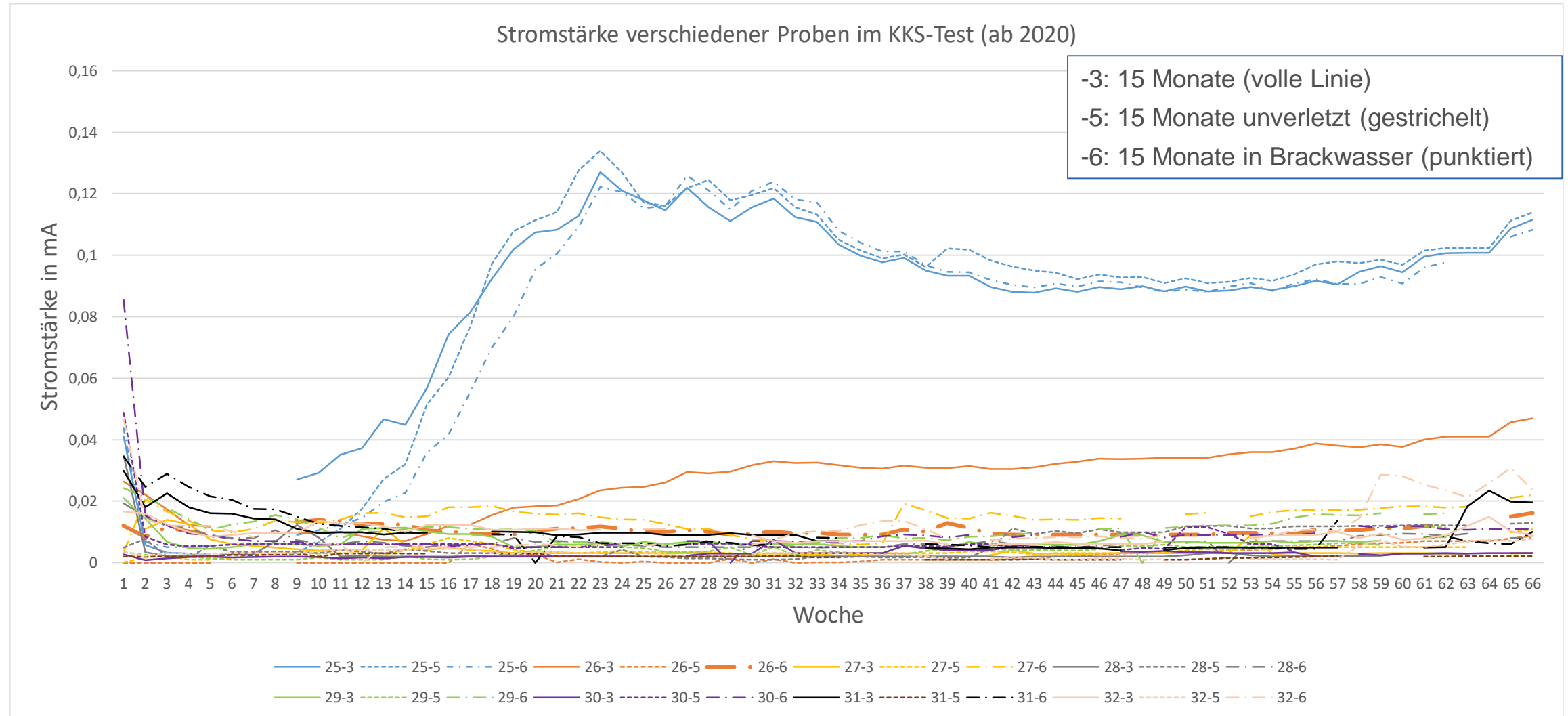
Nicht bestandene Prüfungen:

- 2:
 - Probe 3 Blasen + Unterwanderung
 - Probe 6 Blasen + Unterwanderung + Haftfestigkeitsverlust
- 16:
 - Proben 1-3+6 Unterwanderung + Haftfestigkeitsverlust
- 17:
 - Proben 1, 2, 4 Unterwanderung
 - Probe 3 Unterwanderung + Haftfestigkeitsverlust
 - Probe 6 Unterwanderung + Blasen
- 19:
 - Probe 2, 3, 4 Unterwanderung
 - Probe 6 Unterwanderung + Blasen
- 25:
 - Proben 1-3, 4, 5 Unterwanderung + Blasen + Haftfestigkeitsverlust
 - Probe 6 Unterwanderung + Blasen
- 26:
 - Proben 1-3 Unterwanderung + Blasen + Haftfestigkeitsverlust

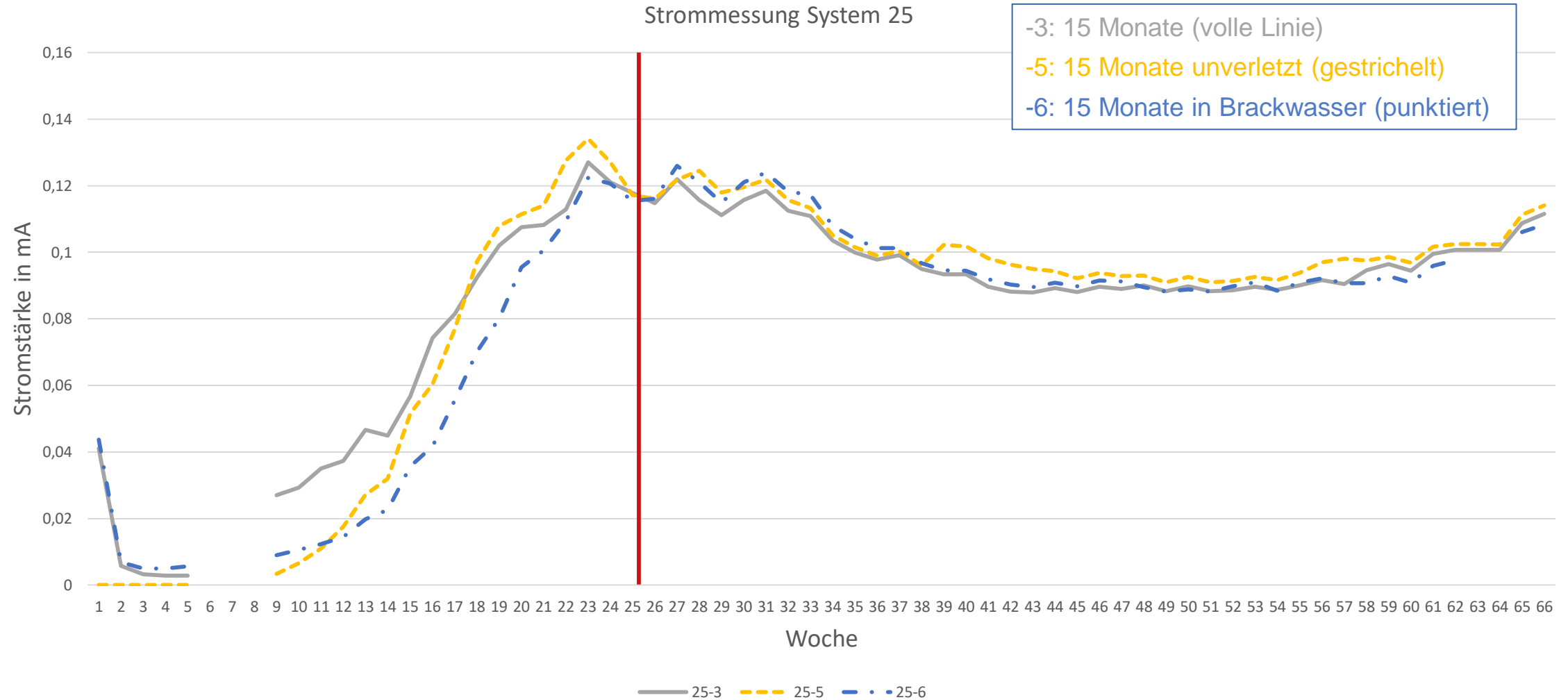
Beispiel einer Strommessung



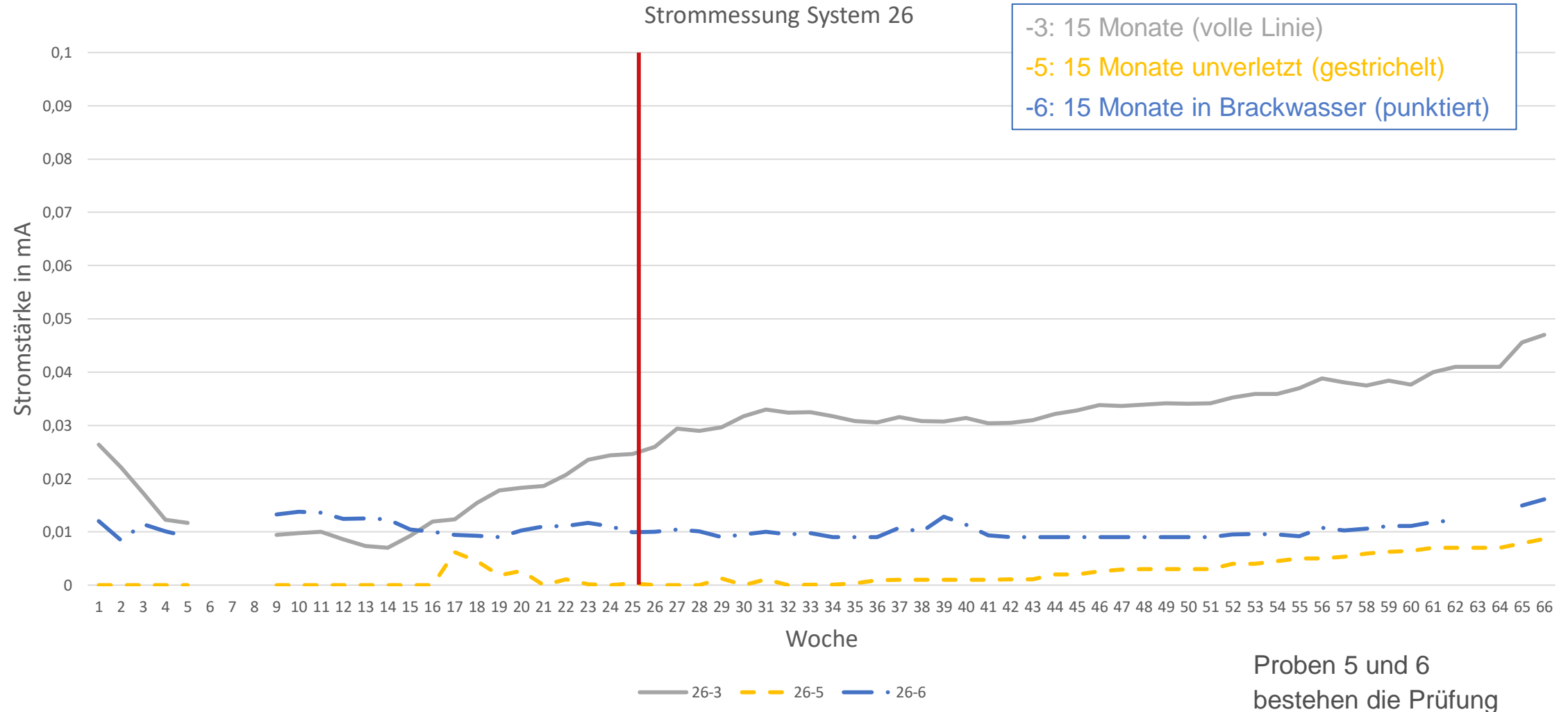
Systeme ab 2020



Deutlich nicht tauglich: System 25



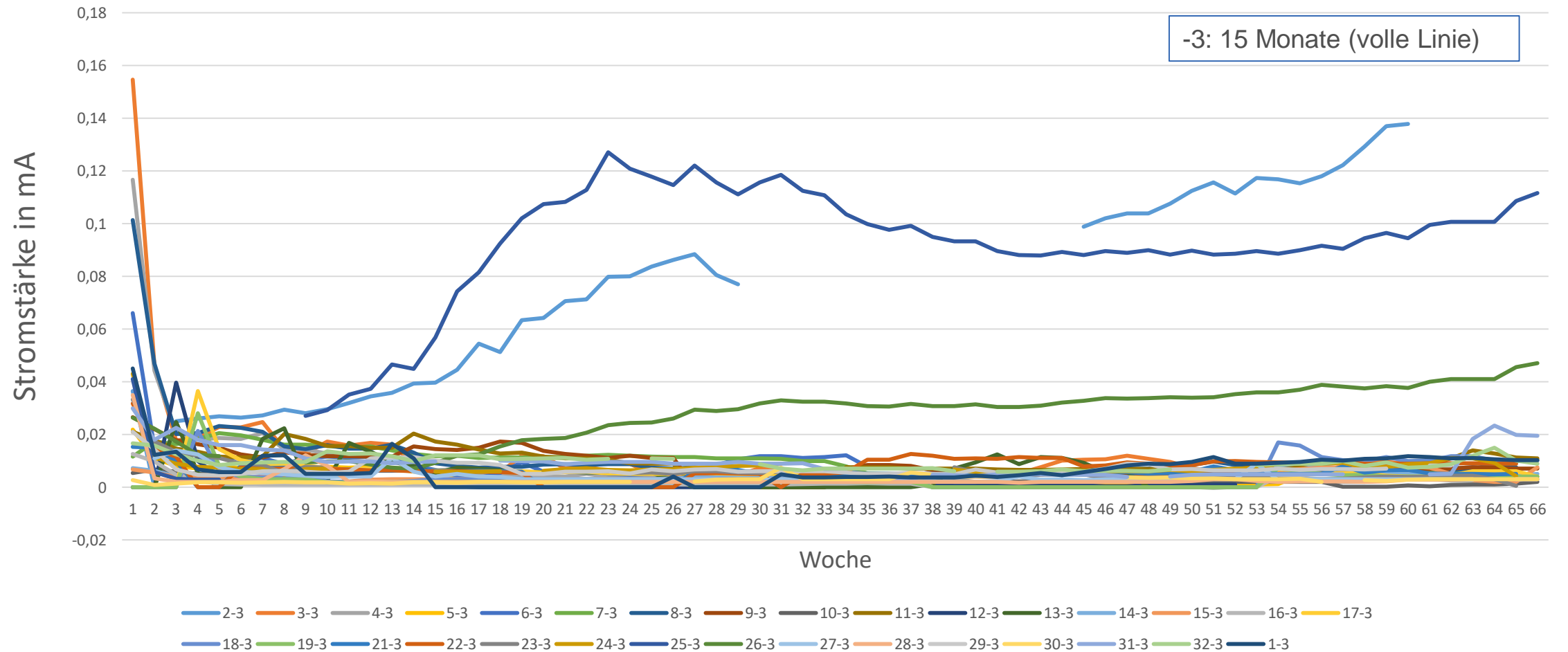
Grenzfall: System 26



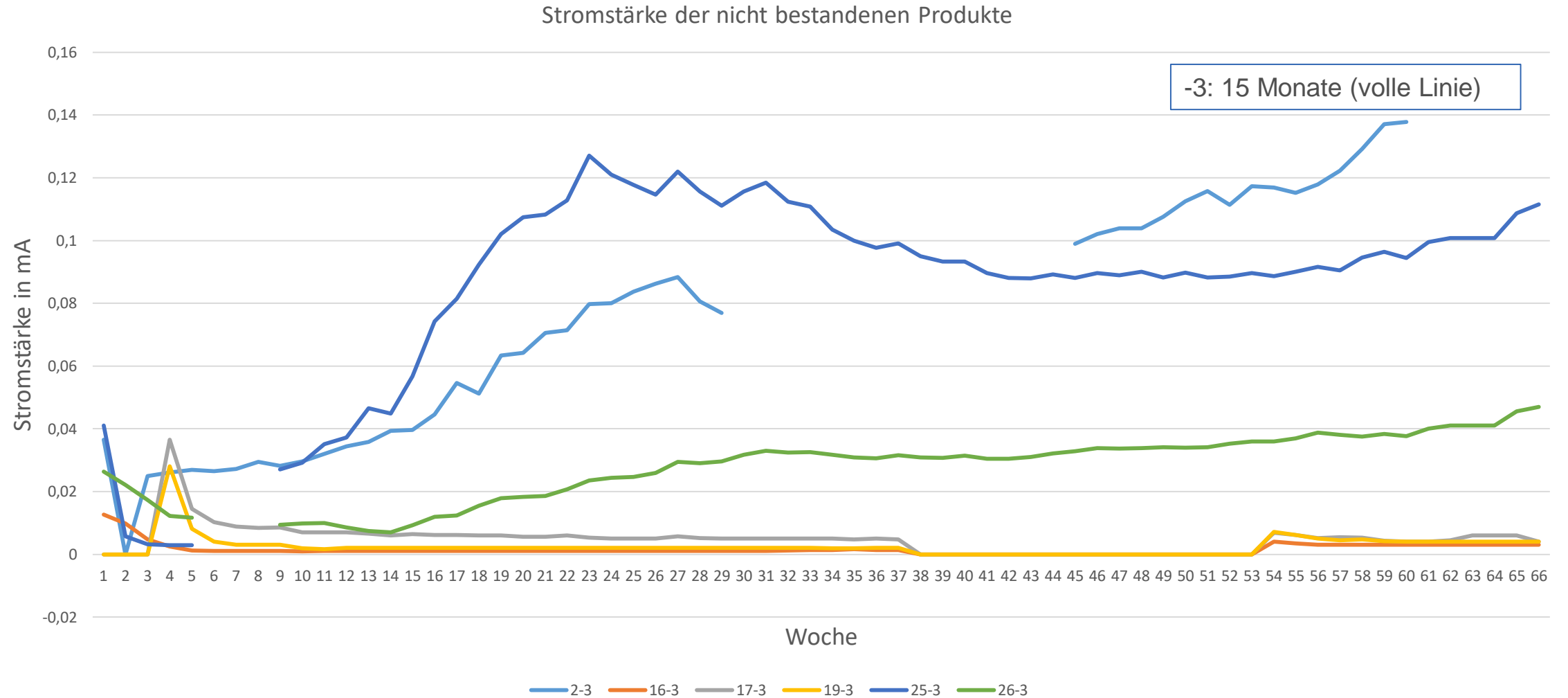
Proben 5 und 6
bestehen die Prüfung

Alle Systeme 2019-2023

Stromstärke verschiedener Proben im KKS-Test (2017-2023)



Stromstärke der nicht bestandenen Produkte



Zusammenfassung KKS-Prüfung

- Die Beobachtung des KKS-Stroms liefert meist frühzeitig Hinweise auf Beschichtungsversagen
- Beschichtungen verhalten sich meist gleich in Salz- und Brackwasser
- Beschichtungsschäden treten meist schon nach 9 Monaten auf

Aber für einzelne Beschichtungssystem gilt:

- Beschichtungen können ohne Auffälligkeit in der Strommessung versagen
- Beschichtungen können sich in Salz- und Brackwasser unterschiedlich verhalten
- Beschichtungsschäden können erst nach 15 Monaten auftreten



Auflösung: Beschichtungsschäden an einer Kanalbrücke

- Kanalbrücke, ca. 220 m lang und 36 m breit
- Beschichtung: 50 µm EP-Zn + 450 µm EP
- 20 Magnetit-Anoden
- Schadensbild:
 - Abplatzungen der Beschichtung, initiiert durch Blasenbildung
 - Blasen teilweise mit Flüssigkeit gefüllt (pH=8,9)
 - Vermehrtes Auftreten in Trogmitte
- Potentialmessung:
 - off: ca. -0,80 V vs. Cu/CuSO₄
 - on: bis -1,30 V vs. Cu/CuSO₄
- Potentialbegrenzung nach Regelwerk (hier: MKKS):
 - Mind. -0,85 V (off), max. -1,15 V vs. Cu/CuSO₄
- Vermutlich KKS-Anlage falsch eingestellt



Beschichtungsschaden durch Blasenbildung und Abplatzung



Vielen Dank an Uwe Enders
und Shanna Weiher.

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

Bundesanstalt für Wasserbau
76187 Karlsruhe

www.baw.de