WITG

Institut für
Werkstoffsystemtechnik
Thurgau
an der HTWG Konstanz

Thurgauische Stiftung
für Wissenschaft und
Forschung

Korrosionssensoren für atmosphärische Korrosion: Messprinzipien, Beispiele, Integration in Multisensorkonzept

Matthias Sorg

gfkorr-Jahrestagung 2026

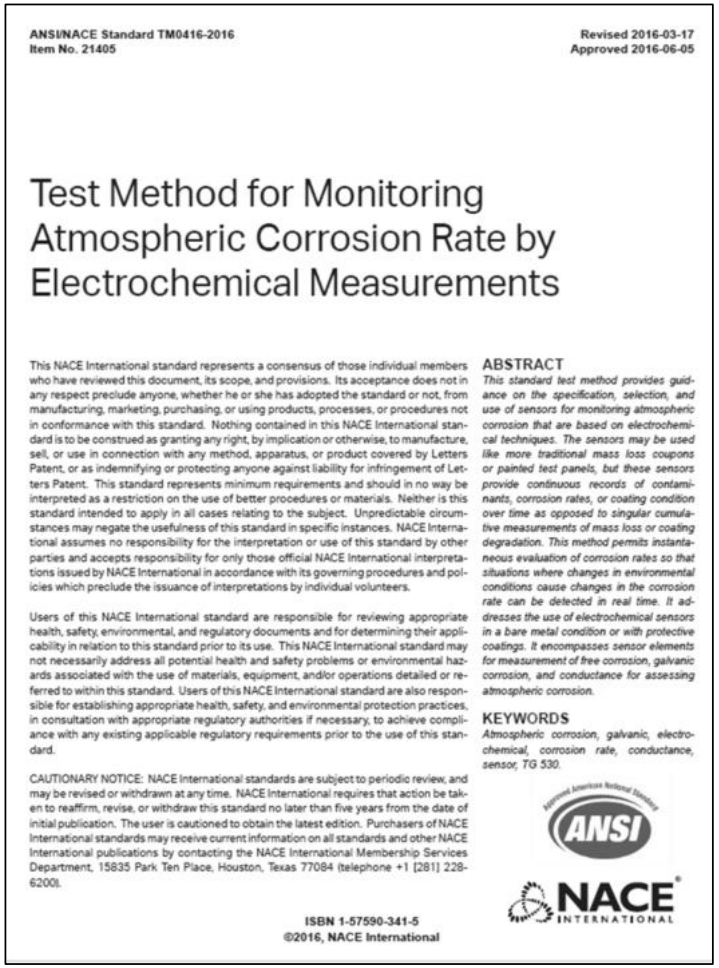
WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Inhalt

- Internationale Standards
- Messprinzipien
- Beispiele
- Entwicklung eines Korrosionssensor
- Integration in Multisensorkonzept
- Ausblick & Zusammenfassung

WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Einführung – Internationale Standards



ANSI/NACE Standard TM0416-2016
Item No. 21405

Revised 2016-03-17
Approved 2016-06-05

Test Method for Monitoring Atmospheric Corrosion Rate by Electrochemical Measurements

This NACE International standard represents a consensus of those individual members who have reviewed this document, its scope, and provisions. Its acceptance does not in any respect preclude anyone, whether he or she has adopted the standard or not, from manufacturing, marketing, purchasing, or using products, processes, or procedures not in conformance with this standard. Nothing contained in this NACE International standard is to be construed as granting any right, by implication or otherwise, to manufacture, sell, or use in connection with any method, apparatus, or product covered by Letters Patent, or as indemnifying or protecting anyone against liability for infringement of Letters Patent. This standard represents minimum requirements and should in no way be interpreted as a restriction on the use of better procedures or materials. Neither is this standard intended to apply in all cases relating to the subject. Unpredictable circumstances may negate the usefulness of this standard in specific instances. NACE International assumes no responsibility for the interpretation or use of this standard by other parties and accepts responsibility for only those official NACE International interpretations issued by NACE International in accordance with its governing procedures and policies which preclude the issuance of interpretations by individual volunteers.

Users of this NACE International standard are responsible for reviewing appropriate health, safety, environmental, and regulatory documents and for determining their applicability in relation to this standard prior to its use. This NACE International standard may not necessarily address all potential health and safety problems or environmental hazards associated with the use of materials, equipment, and/or operations detailed or referred to within this standard. Users of this NACE International standard are also responsible for establishing appropriate health, safety, and environmental protection practices, in consultation with appropriate regulatory authorities if necessary, to achieve compliance with any existing applicable regulatory requirements prior to the use of this standard.

CAUTIONARY NOTICE: NACE International standards are subject to periodic review, and may be revised or withdrawn at any time. NACE International requires that action be taken to reaffirm, revise, or withdraw this standard no later than five years from the date of initial publication. The user is cautioned to obtain the latest edition. Purchasers of NACE International standards may receive current information on all standards and other NACE International publications by contacting the NACE International Membership Services Department, 15835 Park Ten Place, Houston, Texas 77084 (telephone +1 [281] 228-6200).

ISBN 1-57590-341-5
©2016, NACE International

ABSTRACT

This standard test method provides guidance on the specification, selection, and use of sensors for monitoring atmospheric corrosion that are based on electrochemical techniques. The sensors may be used like more traditional mass loss coupons or painted test panels, but these sensors provide continuous records of contaminants, corrosion rates, or coating condition over time as opposed to singular cumulative measurements of mass loss or coating degradation. This method permits instantaneous evaluation of corrosion rates so that situations where changes in environmental conditions cause changes in the corrosion rate can be detected in real time. It addresses the use of electrochemical sensors in a bare metal condition or with protective coatings. It encompasses sensor elements for measurement of free corrosion, galvanic corrosion, and conductance for assessing atmospheric corrosion.

KEYWORDS

Atmospheric corrosion, galvanic, electrochemical, corrosion rate, conductance, sensor, TG 530.



INTERNATIONAL STANDARD

ISO 22858:2020

Edition 1
2020-08

Corrosion of metals and alloys — Electrochemical measurements — Test method for monitoring atmospheric corrosion

Reference number
ISO 22858:2020

© ISO 2025

ISO-Standard basiert auf NACE-Standard

WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Einführung – Messprinzipien

- Free Corrosion Sensors
- Galvanic Corrosion Sensors
- Surface Conductance Sensors

Sensor Uses and Types of Measurement Techniques

Electrochemical Sensors	Measurement Method		
	Two-electrode impedance	Zero resistance ammeter	Precision resistor
Free corrosion	Yes	No	No
Galvanic corrosion	No	Yes	Yes
Surface conductance	Yes	No	No

Quelle: ANSI/NACE Standard TM0416-2016: Test Method for Monitoring Atmospheric Corrosion Rate by Electrochemical Measurements

WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Einführung – Messprinzipien

- Free Corrosion (Current) Sensors
  - Gefertigt aus dem zu überwachenden Metall/Legierung
  - 2 Elektroden aus dem gleichen Metall/Legierung
  - Distanz zwischen den Elektroden sollte ≤300 µm sein
  - Potential zwischen Elektroden wird kontrolliert, die Stromantwort gemessen

- Galvanic Corrosion Sensors
  - 2 Elektroden aus unterschiedlichem Metall/Legierung (Anode/Kathode)
  - Distanz zwischen den Elektroden sollte ≤300 µm sein
  - Messung des Korrosionsstroms über:
    → Nullwiderstands-Amperemeter (Zero-Resistance Ammeter, ZRA)
    → Präzisions-Widerstandsmessungen (Potentialabfall)

WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Einführung – Messprinzipien

- Surface (Thin Film) Conductance Sensors
  - zur Messung von Feuchtigkeit und Verunreinigungen auf der Sensoroberfläche
  - Indikator für korrosionsfördernde Bedingungen
  - ineinandergreifende Zwei-Elektroden-Sensoren aus Edelmetallen und -legierungen, wie z. B. Gold
  - Potential zwischen Elektroden wird kontrolliert, die Stromantwort gemessen

- Messung des elektrischen Widerstandes
  - Messung der Änderung des elektr. Widerstandes
    → direkter Bezug zum Massenverlust der Probe durch Korrosion

WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Einführung – Messprinzipien

- Quartz Crystal Microbalance (QCM) technology
  - Messung von Gewichtsänderungen

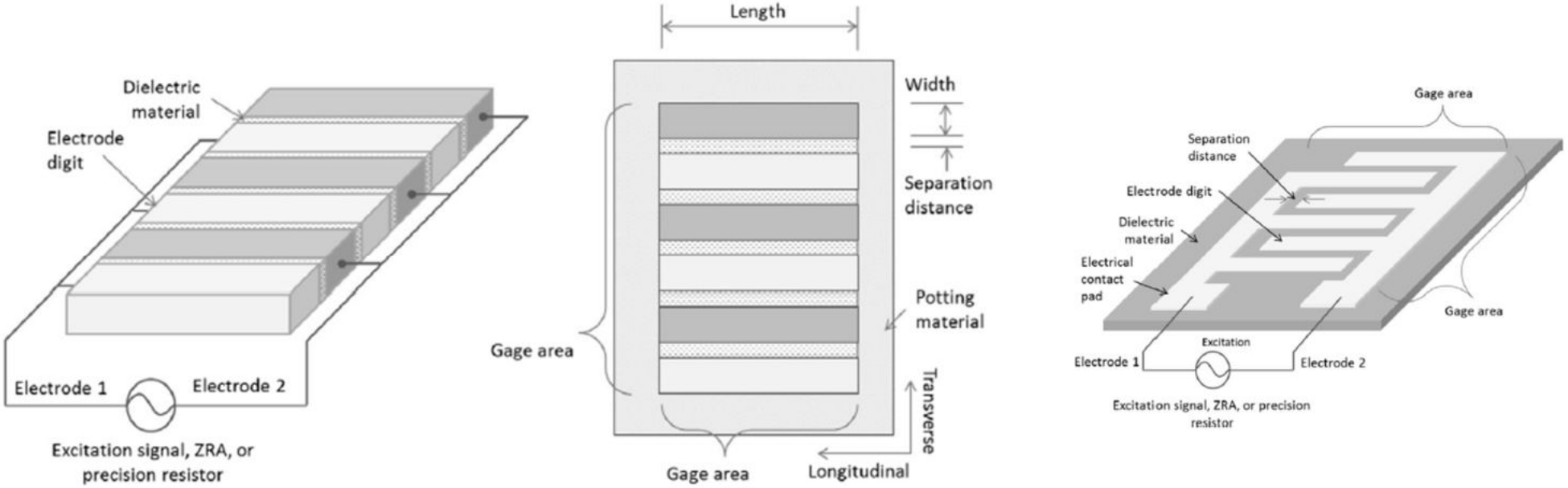
- Indirekte Bestimmung der Korrosivität:
  - Temperatur & Luftfeuchtigkeit
  - ToW – Time of Wetness
  - Schadstoffe

- Weiterführende Zusammenfassung der verschiedenen Messprinzipien:
  - Popova, K.; Prošek, T. Corrosion Monitoring in Atmospheric Conditions: A Review. Metals 2022, 12, 171. https://doi.org/10.3390/met12020171

WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Einführung – Messprinzipien

- Möglicher Aufbau von elektrochemischen Sensoren



Quelle: ANSI/NACE Standard TM0416-2016: Test Method for Monitoring Atmospheric Corrosion Rate by Electrochemical Measurements

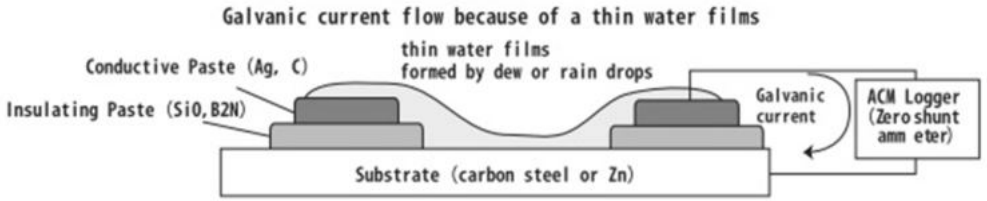
WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Beispiele

- ACM Sensor – Messung des Korrosionsstromes



Quelle: https://english.uedaindustry.co.jp/product/atmospheric/

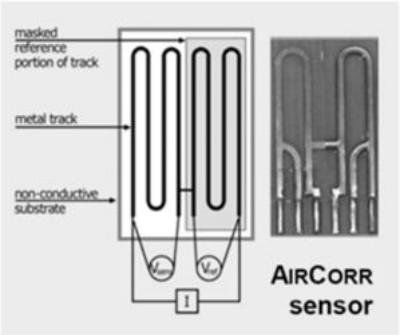




WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Beispiele

- AirCorr – Messung des Widerstandes von dünnen Metallschichten









Material	Indoor, high sensitivity	Indoor, long lifetime	Outdoor, high sensitivity	Outdoor, long lifetime
Copper	50 nm	500 nm	5 µm	12 µm
Silver	50 nm	500 nm		–
Lead	400 nm	25 µm		
Iron/steel	800 nm	25 µm		250 µm
Zinc	–	25 µm		50 µm
Aluminium	–	14 µm		
Tin	–	10 µm		
Bronze	400 nm		5 µm	
Brass	–	10 µm		

Quelle: https://nke-instrumentation.com/wp-content/uploads/2019/05/AirCorr-brochure.pdf

WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Beispiele

- CorrSen– Messung des Widerstandes von dünnen Metallschichten





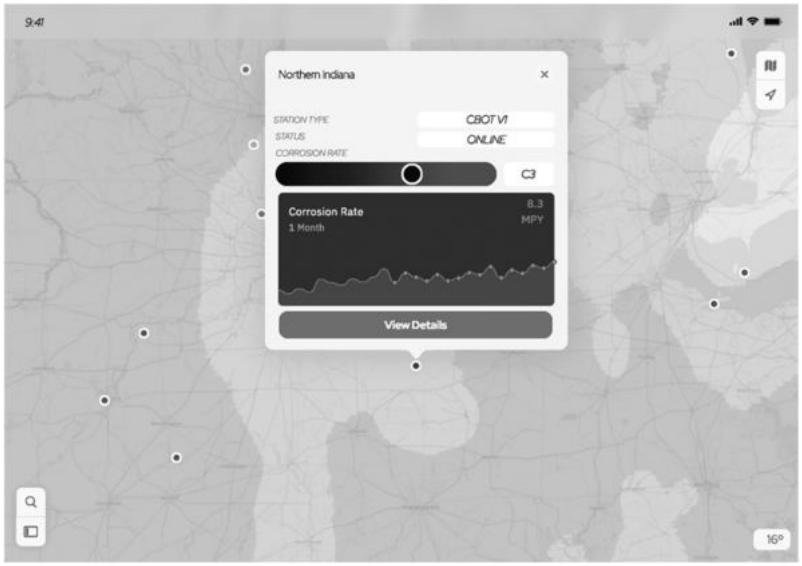
Quelle: https://www.corrsen.com/

WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Beispiele

- CBOT™ IoT Corrosion Sensors - EIS (Elektrochemische Impedanzspektroskopie)



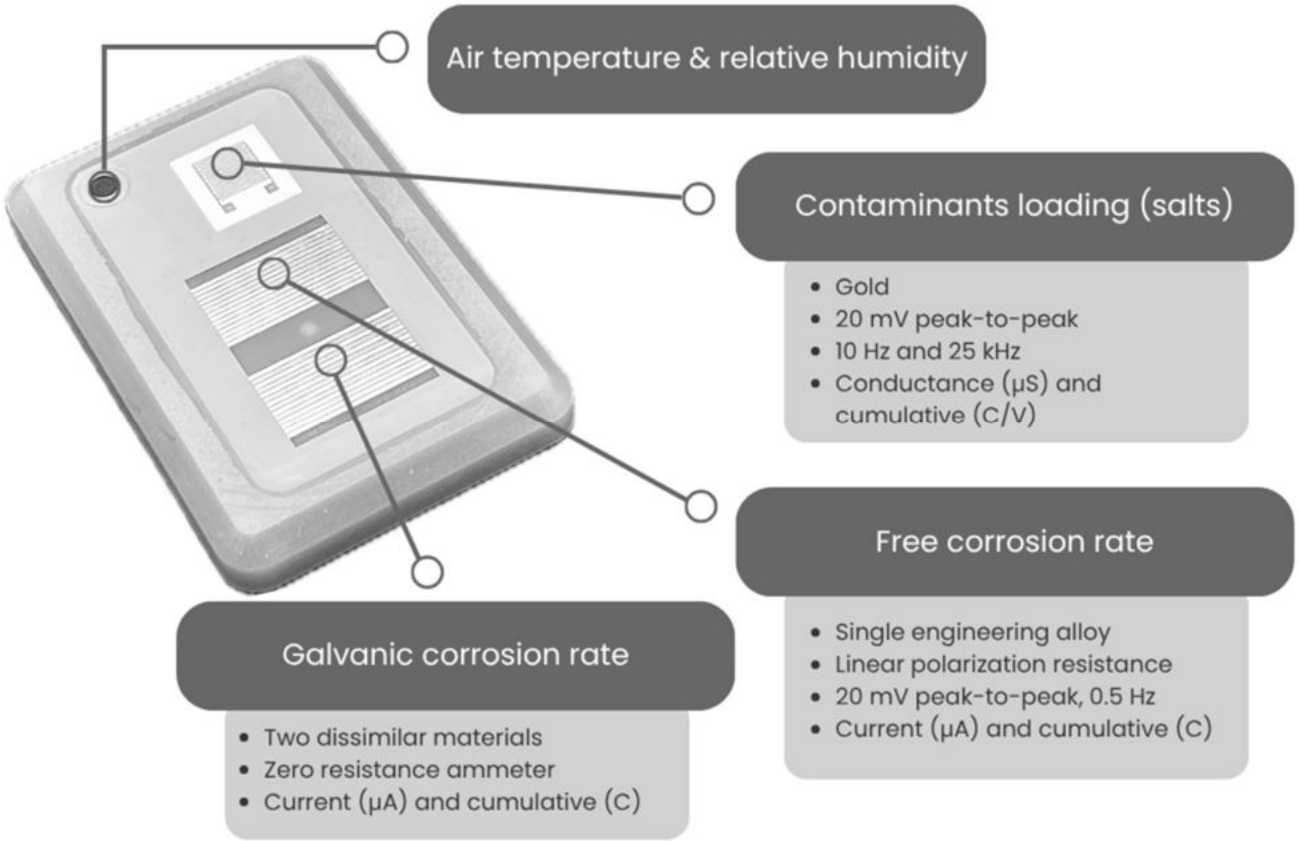


Quelle: https://www.cbot.tech/

WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Beispiele

- Acuity LS Lid Sensor Panel – verschiedene Messprinzipien kombiniert

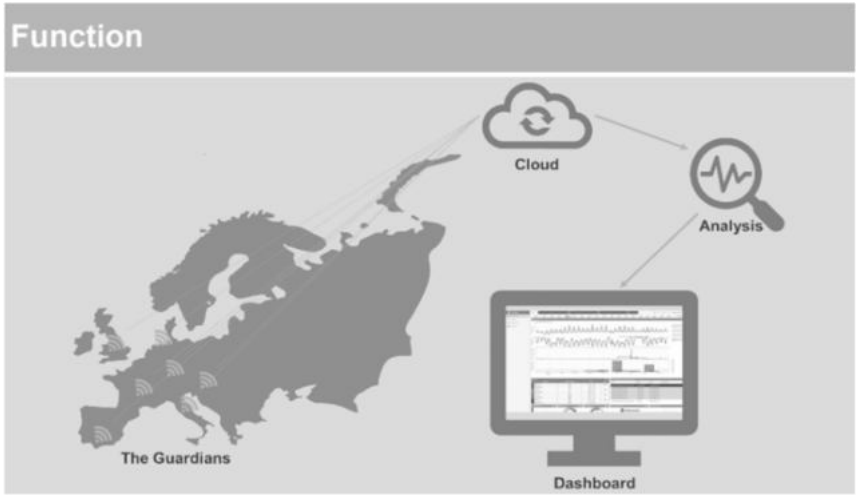


Quelle: https://acuitycorrosion.com/products-2/

WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Entwicklung eines Korrosionssensors

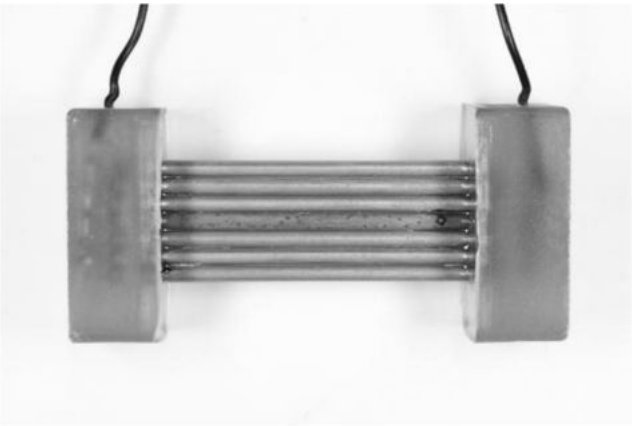
- Entwicklung eines Korrosionssensors für geologische Schutzsysteme der Geobrugg AG
  - → Robustes System
  - → Feuerverzinkte Stahldrähte
  - → Datenübertragung per Mobilfunknetz auf Grund schwerer Zugänglichkeit
  - → Integration in Multisensorkonzept (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Überwachung Steinschlag, …)
  - → Lange Lebensdauer

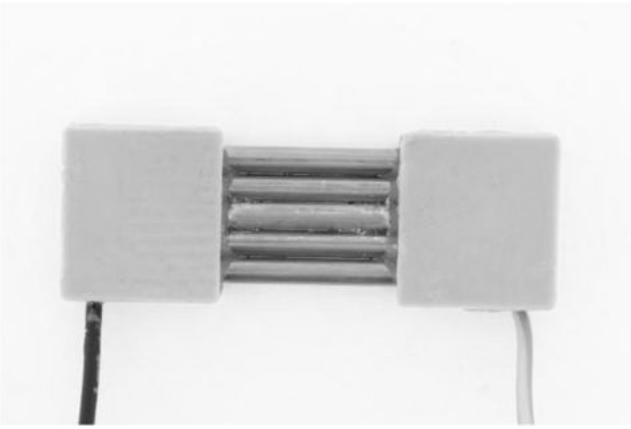


WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Entwicklung eines Korrosionssensors

- Prinzip des Sensors
  - Galvanisches Element zwischen Stahl und Zn-Al Beschichtung
  - Kein direkter Kontakt zwischen Elementen → Verbindung durch Feuchtigkeit
    → Drahtabstand <0,2 mm
  - Messung des Korrosionsstromes
  - Verwendung des Originaldraht aus Produkten
  - Fläche Anode >>> Fläche Kathode

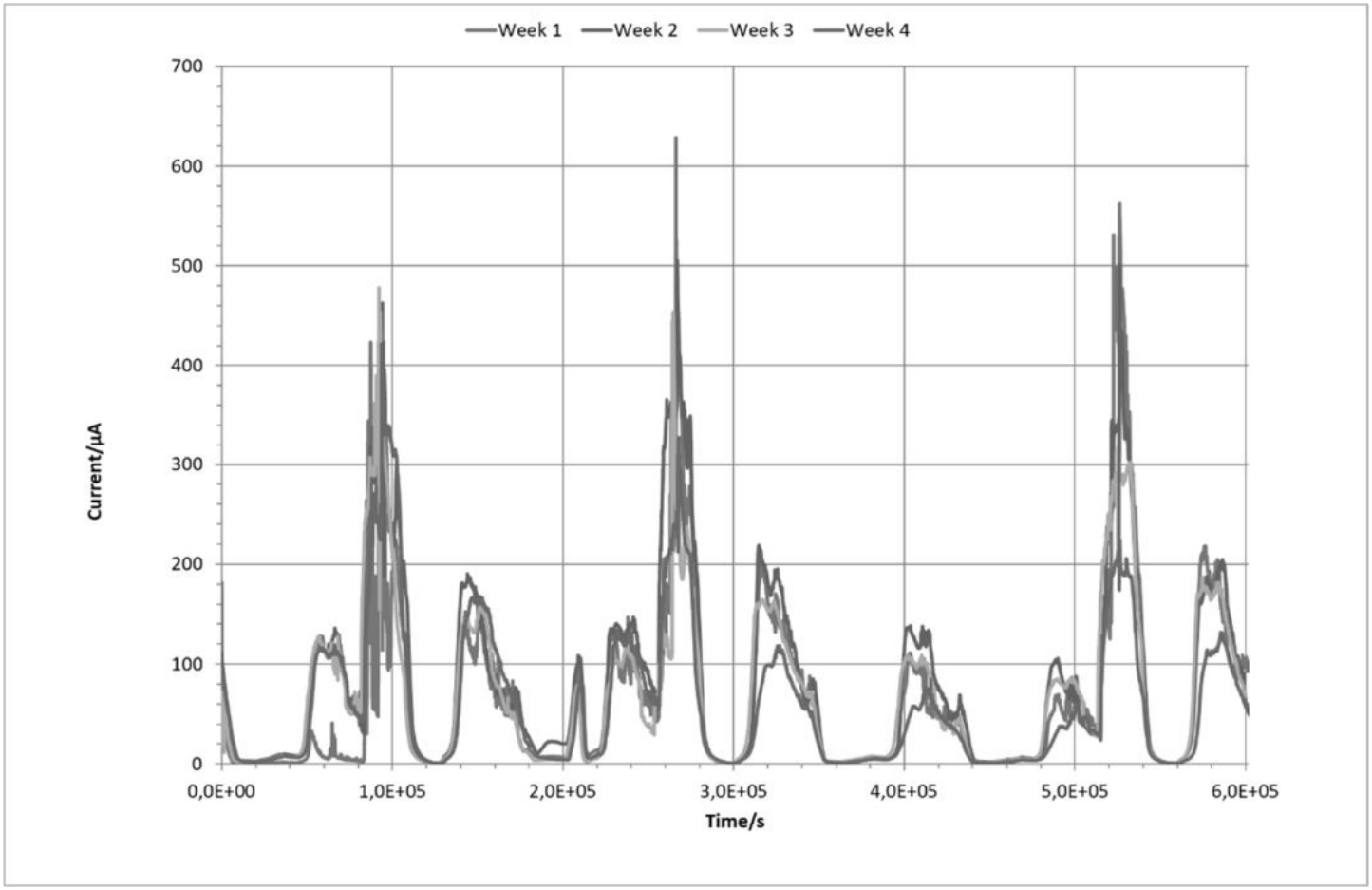




WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Entwicklung eines Korrosionssensors

- Versuche in Klimazyklen mit Salzsprühphasen (in Anlehnung an DIN 55635)

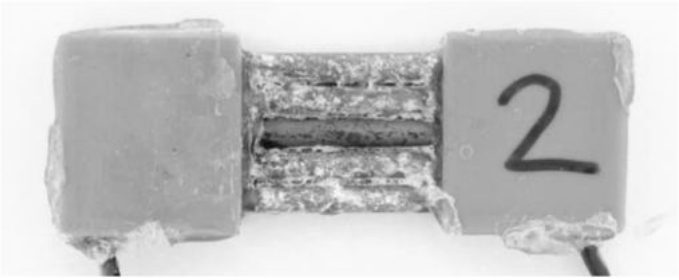


WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Entwicklung eines Korrosionssensors

- Versuche in Klimazyklen mit Salzsprühphasen
  - Kalkulation der Korrosionsrate aus Korrosionsstrom
  - Vergleich mit Massenverlust von Referenzdrähten
  - Zwei Testzyklen (Zwei Wochen)

	Reference Wire (gravimetric)	Sensor (calculated)
Mass loss [g/m^2]	45,2	35,5



  - Sehr aggressiver Test → hohe Korrosionsrate
  - Deutliche Belegung mit Korrosionsprodukten → kein Abwaschen durch Regen

WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Entwicklung eines Korrosionssensors

- Feldversuche
  - Ca. 50 Prototypen des Sensors an verschiedenen Auslagerungsstandorten in Europa
  - Hohe und niedrige Korrosionsbelastungen
  - Zusammen mit Referenzdrähten

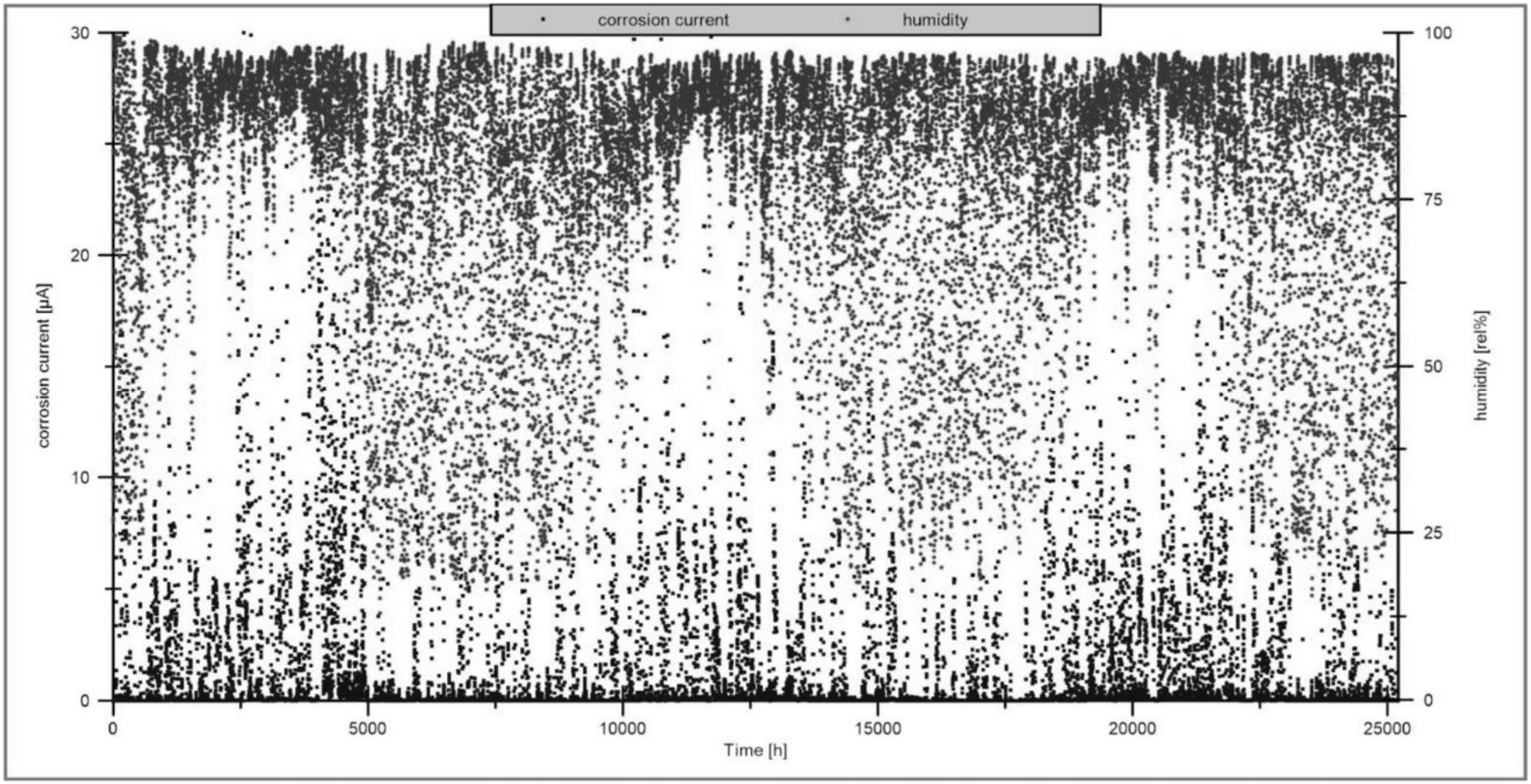




WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Entwicklung eines Korrosionssensors

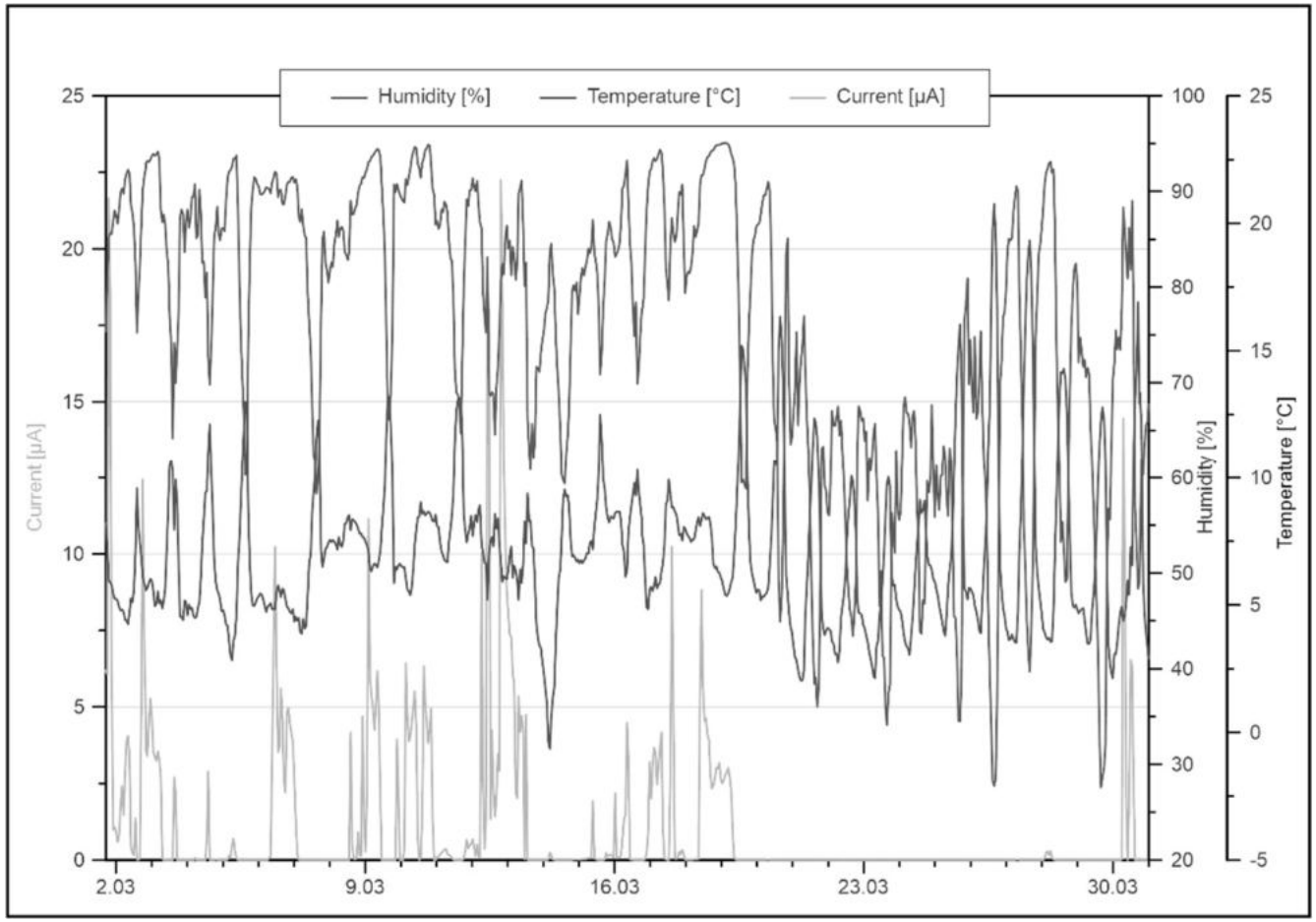
- Helgoland, August 2019 bis Juli 2022



WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Entwicklung eines Korrosionssensors

- Helgoland, März 2020

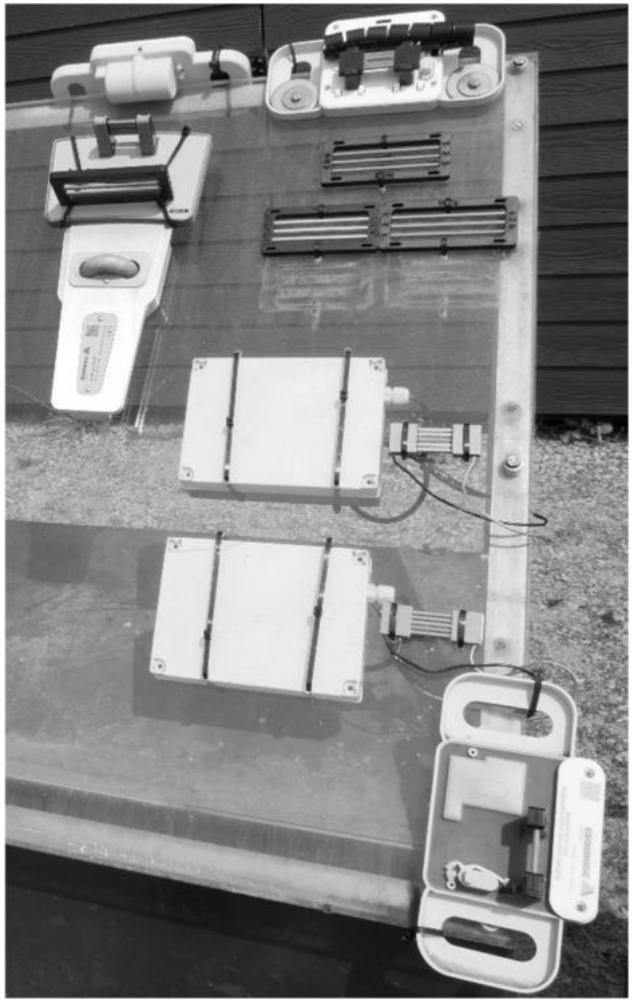


WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Entwicklung eines Korrosionssensors

- Helgoland
  - Mehrere Prototypen in verschiedenen Zeiträumen
  - Parallel dazu Referenzdrähte
  - → Korrosionsklasse C3

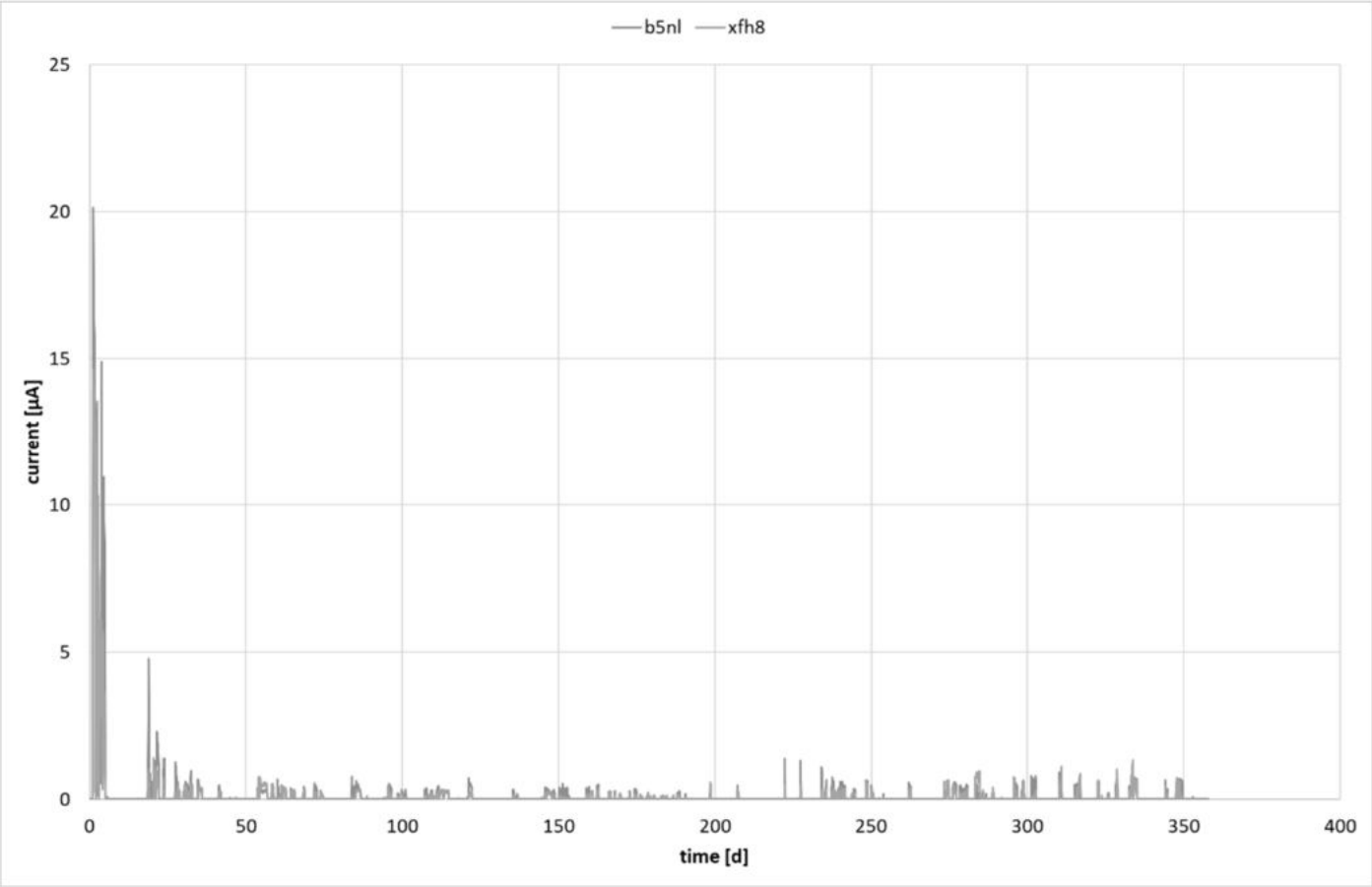
	Mass loss [g/m²*a]	Wire 1 [g/m²*a]	Wire 2 [g/m²*a]	Wire 3 [g/m²*a]
Sensor 1	7,0	8,1	8,1	8,9
Sensor 2	8,9			
Sensor 3	9,9	7,4	9,9	9,4



WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Entwicklung eines Korrosionssensors

- Altstätten (Schweiz), September 2019 bis August 2020



WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

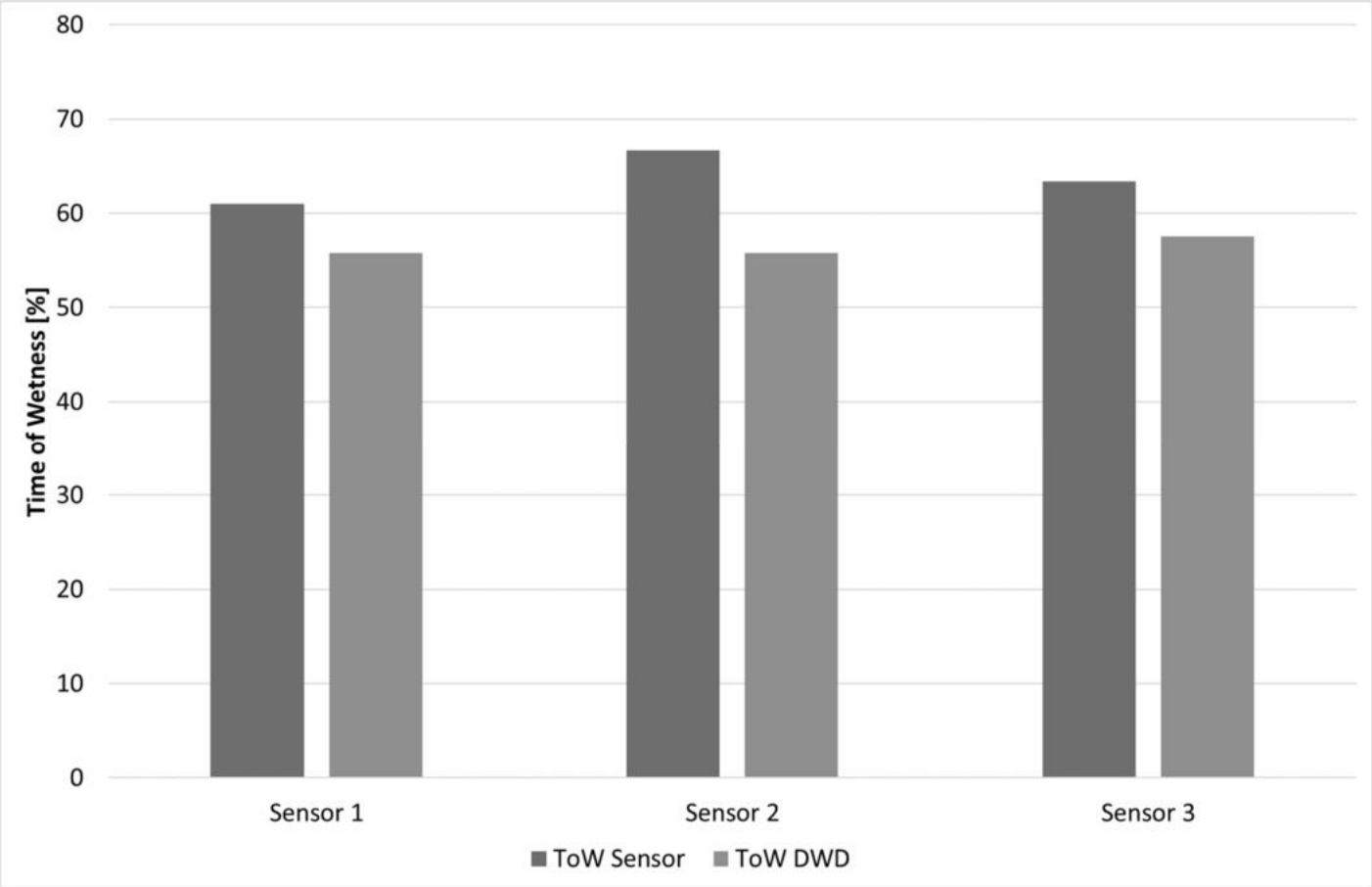
Entwicklung eines Korrosionssensors

- Helgoland
  - Vergleich mit „Time of Wetness“ (ToW)
    → Zeit wenn relative LF >=80% und Temperatur >0°C
  - Vergleich der Sensordaten (LF, Temp, Korrosion) und der offiziellen Wetterdaten (DWD)

WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Entwicklung eines Korrosionssensors

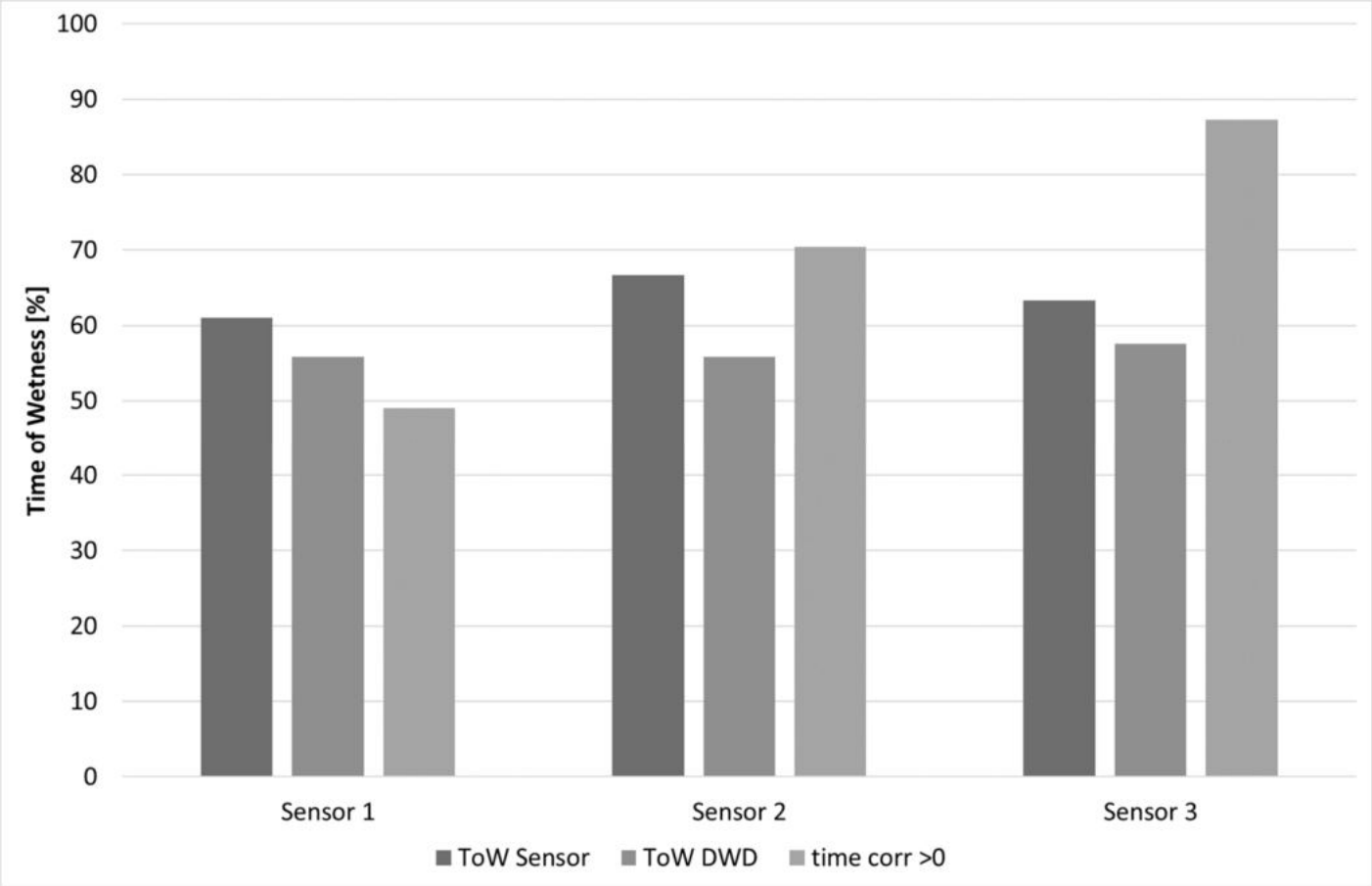
- Helgoland ToW



WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Entwicklung eines Korrosionssensors

- Helgoland ToW



WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Entwicklung eines Korrosionssensors

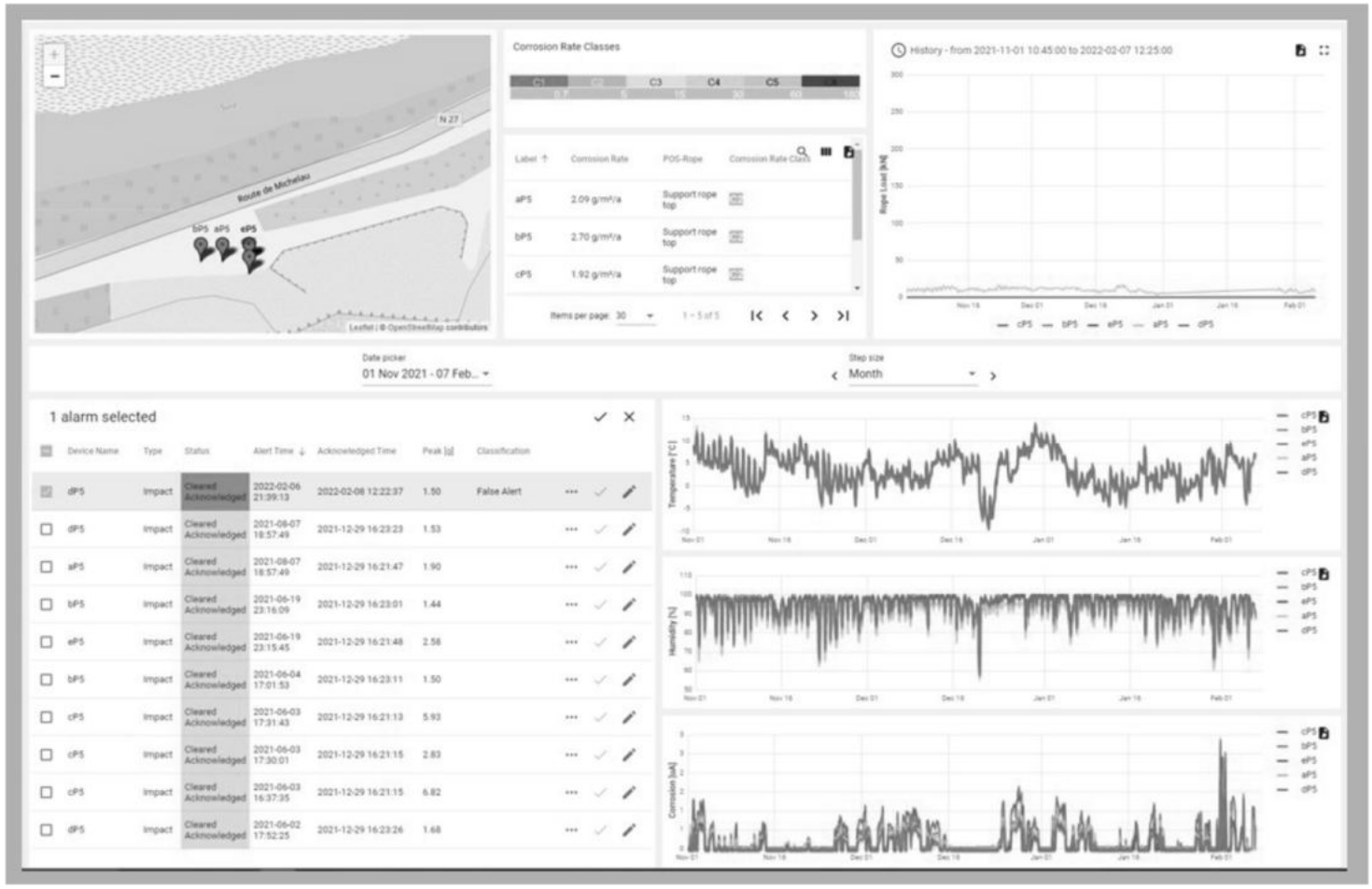
- Integration in Multisensorkonzept
  - Position / Lage
  - Korrosionsrate
  - Temp/LF
  - Statische Seillast
  - Steinschlagalarm
  - Datenübertragung per Mobilfunk
  - Daten aufbereitet über Cloud / Dashboard



WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Entwicklung eines Korrosionssensors

- Integration in Multisensorkonzept



WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Ausblick & Zusammenfassung

- Neugestaltung des Sensorkonzeptes
  - Sensoren einzeln verfügbar mit Basisstation
  - Höhere Anzahl von Sensoren pro Basisstation
  - Gezielterer Einsatz der verschiedenen Sensoren möglich

- Vielzahl von verschiedenen Sensoren auf dem Markt
- Sowohl Standortklassifizierung als auch konkrete Überwachung möglich
- Auf Basis der Standards ist eine Eigenentwicklung und Anpassung auf spezielle Bedürfnisse möglich

WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch

Kontakt

WITG.CH

Newsmail

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

m.sorg@witg.ch

WITG I Konstanzerstrasse 19 I CH-8274 Tägerwilen I Telefon +41 (0) 71 666 4204 I www.witg.ch I info@witg.ch