**WeKnowCoaTech ExpertSessions, 22.09.2026**

# SMART STEEL

Ivica KOLARIĆ

Fraunhofer IPA

Fraunhofer-Institut für Produktions-technik und Automatisierung IPA



Fraunhofer IPA

# Smart & multifunktional

## Die Zukunft der Oberflächen



Source: Pinterest

# Besser Lackieren: Smart Steel

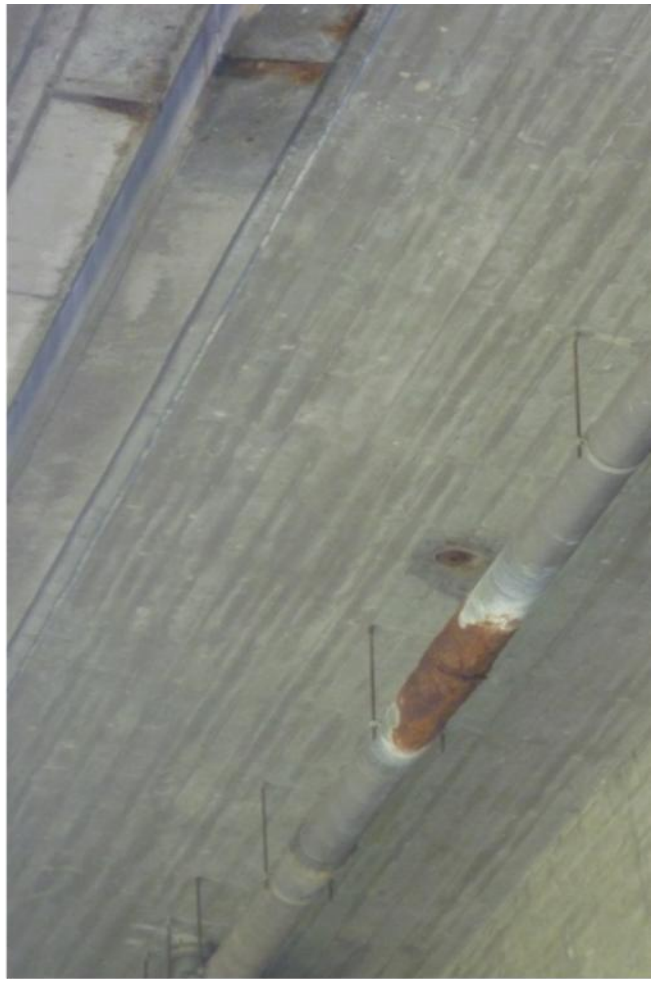
## Korrosion ist (fast) überall











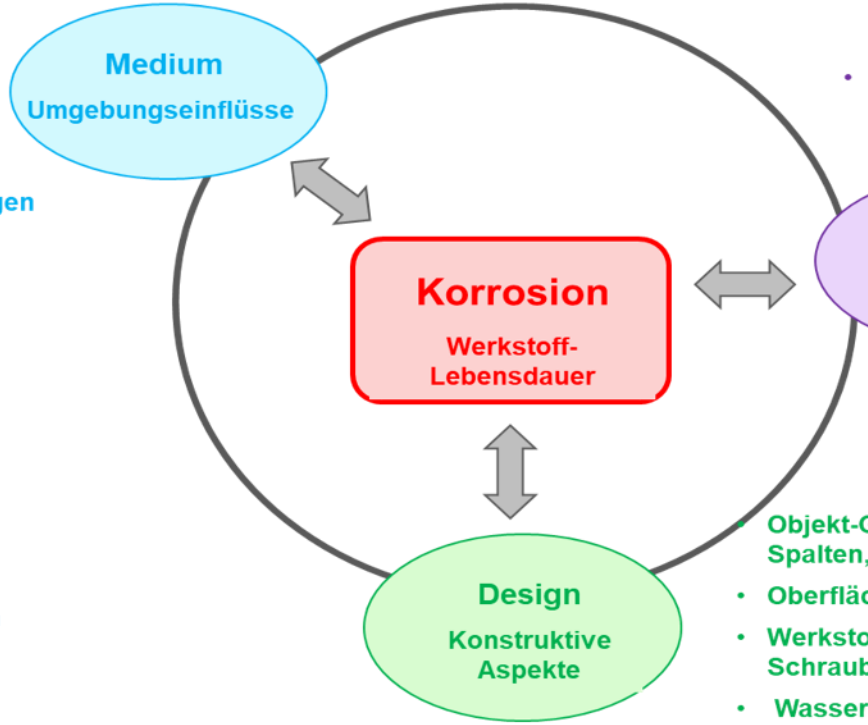
Quelle : Webinar Korrosion: R. Nothelfer-Richter


© Fraunhofer IPA

# Besser Lackieren: Smart Steel

## Korrosion: Eine Zentrale Gestaltungsvorschrift

### Korrosion als Systemeigenschaft




- Atmosphärische Bedingungen
  - Standort
  - Feucht-/ Trocken-Wechsel
  - TOW (Time of Wetness)
  - Temperatur /-wechsel /-sprünge
  - pH-Wert
  - Schadstoffe ($SO_2$, Ruß)
  - Elektrolyte
  - UV-Strahlung
  - mech./ elektr. Belastungen
  - biologische Einwirkungen

- Grundwerkstoff, Kombinationen „Multi- Metall“
- Vorbehandlung (mech., chem.)
- Beschichtungen
  - Einschicht/ Mehrschicht
  - physik. /chem. Eigenschaften
- Überzüge (metallisch, anorganisch); chem., physik. Eigenschaften

- Objekt-Geometrie (Vertiefungen/Mulden), Kantenradien, Spalten, …
- Oberflächenzustand (Rauheit, Struktur)
- Werkstoffverbindungen (Klebungen, Schweißnähte, Schrauben)
- Wasserzutritt/ Belüftung
- Möglichkeiten der Beaufschlagung mit Schadstoffen

Quelle : Webinar Korrosion: R. Nothelfer-Richter

CC BY NC ND

© Fraunhofer IPA

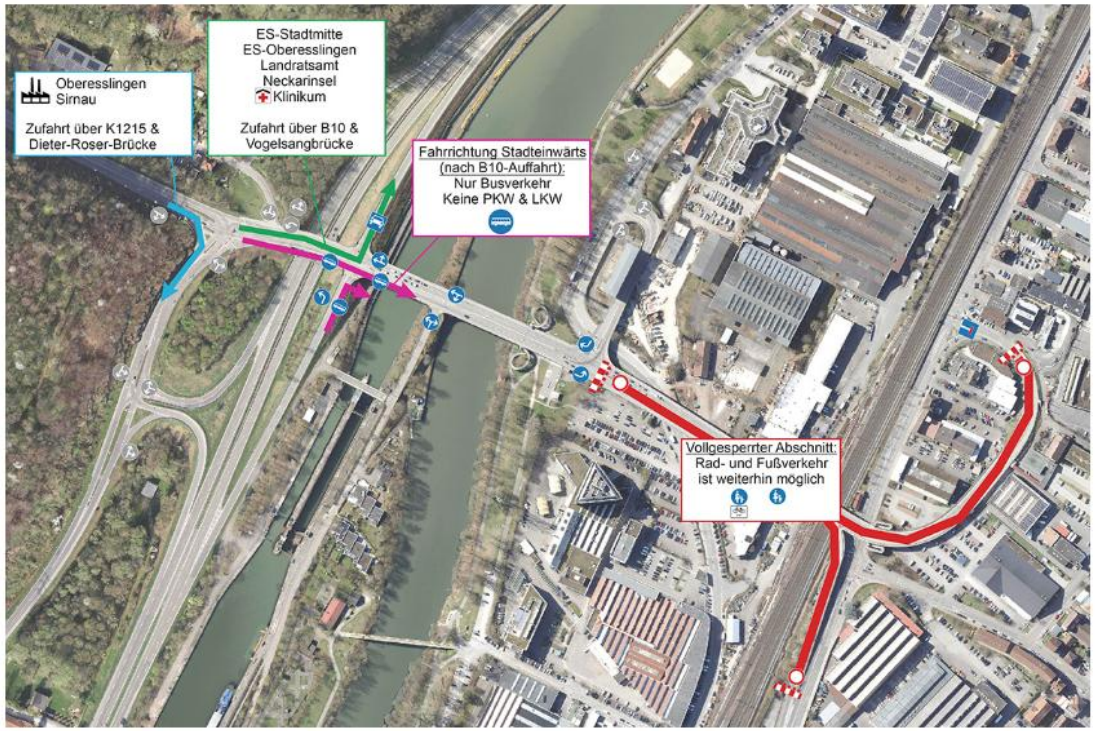
Restricted

# Besser Lackieren: Smart Steel

## Korrosion: Das unterschätzte Billionenproblem

### Großteil der Adenauerbrücke gesperrt

Die Adenauerbrücke in Esslingen ist aus Sicherheitsgründen seit Freitag, 7. August, zum Großteil für den Kraftfahrzeugverkehr gesperrt. Es besteht zum jetzigen Zeitpunkt keine akute Einsturzgefahr. Eine Umleitung ist eingerichtet.




## Das ist die Ausgangslage

Seit mehr als 50 Jahren ist die Adenauerbrücke eine der zentralen Verkehrsadern in Esslingen. Das rund ein Kilometer lange Bauwerk führt über die B10, den Neckar sowie die Bahngleise und wird jeden Tag von rund 30.000 Fahrzeugen genutzt. In den vergangenen Jahren wurde der Zustand des Bauwerks regelmäßig und gründlich untersucht. Dabei hat das Gutachterbüro, das renommierte Büro Leonhardt, Andrä und Partner (LAP), Anfang des Jahres weitere Risse im Beton festgestellt. Als erste Sofortmaßnahme zur Entlastung wurde vorsorglich ein rund 60 Meter langes Teilstück einer der beiden nach Norden führenden Fahrspuren gesperrt. Notwendig ist die umfassende Sperrung nun, weil bei neuesten Untersuchungen korrodierte, teilweise bereits angerissene bzw. ganz gerissene sogenannte Spannglieder festgestellt wurden. Die durch Korrosion entstandenen Schäden (Spannungsrisskorrosion) sind so erheblich, dass die Tragsicherheit der Adenauerbrücke in Teilen nicht mehr ausreichend gewährleistet ist, wenn sie weiterhin vom Kraftfahrzeugverkehr befahren wird.

Im Inneren der Brücke verlaufen die Spannglieder über die gesamte Länge. Sie sind das tragende Element der Brücke und sorgen für ihre Stabilität. Die Spannglieder wurden bereits beim Bau der Brücke Anfang der 1970er-Jahre unter hoher Spannung eingebaut. Zwar sind sie im Brückenkörper vollständig einbetoniert, allerdings ist der damals standardmäßig verwendete Stahl anfällig für Spannungsrisskorrosion. Die hat man inzwischen bei vielen Brückenbauwerken aus der damaligen Zeit feststellt. Auch bei der seit dieser Woche gesperrten Kurt-Schumacher-Brücke in Ludwigshafen wurde Spannungsrisskorrosion festgestellt. Spannungsrisskorrosion war ebenfalls die maßgebliche Ursache für den Einsturz der Carolabrücke in Dresden im Jahr 2024.


© Fraunhofer IPA

Restricted



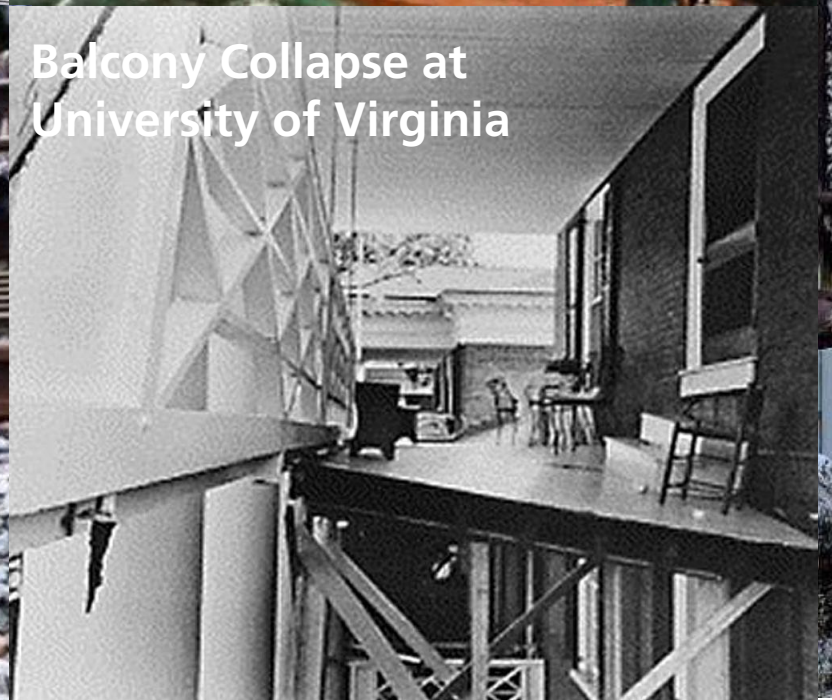










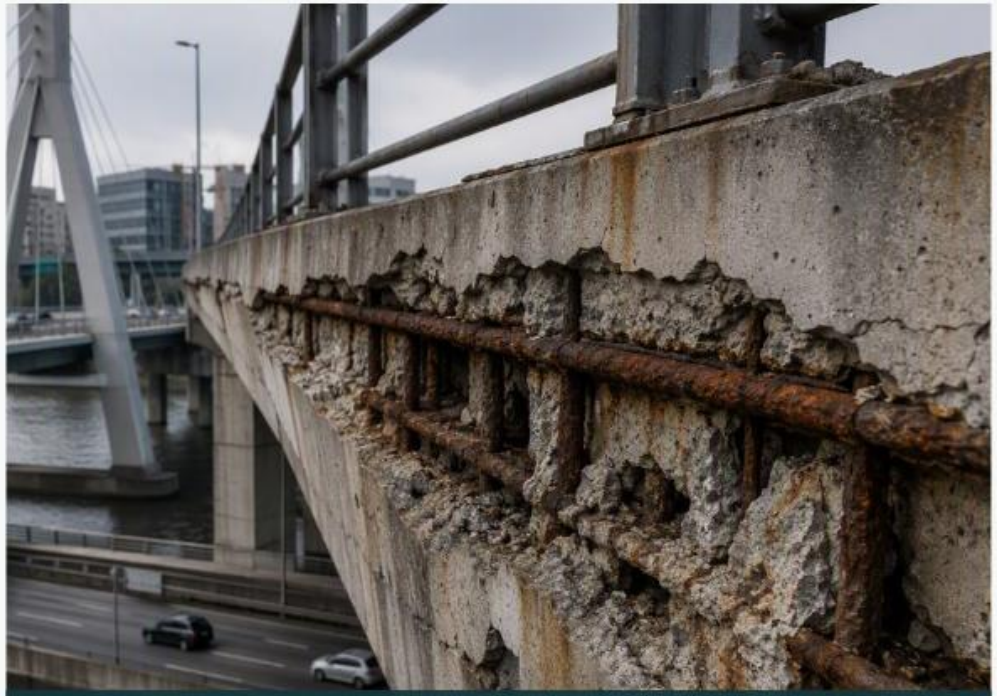



Source:Five Disasters Caused by Corrosion
PCI

# Besser Lackieren: Smart Steel

## Korrosion: Das unterschätzte Billionenproblem

Aktuelle Bauschäden entstehen vor allem dort, wo Feuchte, Chloride und $CO_2$ auf alternde Schutzsysteme treffen.



Typisches Schadensbild

**Abplatzender Beton legt korrodierte Bewehrung frei. Querschnitt und Verbundwirkung werden geschwächt.**

| **2,5 Bio. US$** | **3,4 %** | **15–35 %** |
|---|---|---|
| globale Korrosionskosten pro Jahr | des globalen BIP (Basisjahr 2013) | durch bewährte Schutzpraktiken vermeidbar |
| AMPP/NACE | IMPACT Study | AMPP/NACE |

### Vier prioritäre Schadensfelder im Bestand

| | | | |
|---|---|---|---|
| 01 | **Stahlbeton** | **Chloride / Karbonatisierung** | Risse, Abplatzungen, Bewehrungskorrosion |
| 02 | **Stahlbau & Fassaden** | **Beschichtungsdefekte / Feuchte** | Rost, Querschnittsverlust, Wertverlust |
| 03 | **Parkhäuser** | **Streusalz / Nass-Trocken-Zyklen** | lokale Hotspots, Sperrungen, hohe Sanierungskosten |
| 04 | **Leitungen & Abwasser** | **chemische / mikrobielle Korrosion** | Leckagen, Funktionsverlust, Folgeschäden |

**Management-Implikation** **Von intervallbasierter Prüfung zu Monitoring, Früherkennung und zustandsbasierter Instandhaltung.**

Quellen: AMPP/NACE IMPACT (2016/2025); BASt B 208 (2025); Fraunhofer IPA/IFAM.


© Fraunhofer IPA

# Besser Lackieren: Smart Steel

## Paradigmenwechsel von Reaktion zu Kontrolle




**ERKENNEN**
Sensorik & Inspektion

**BEWERTEN**
Daten & Risiko

**PROGNOSTIZIEREN**
Modelle & KI

**PRIORISIEREN**
Wartungsbedarf

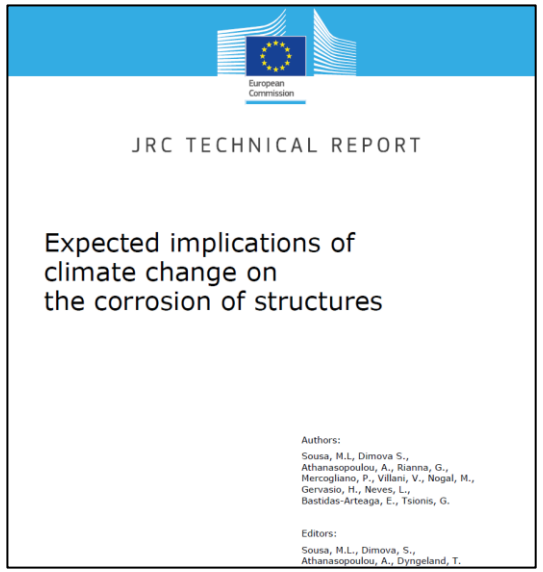
**HANDELN**
Gezielte Maßnahme


© Fraunhofer IPA

Restricted

# Besser Lackieren: Smart Steel

## Aktivitäten der EU zum Thema Korrosion

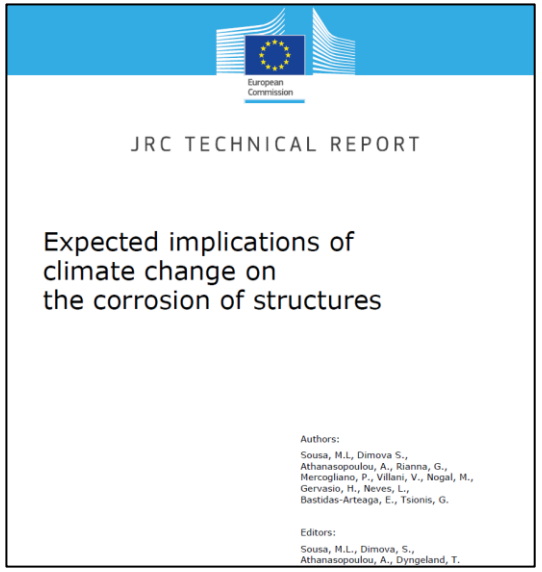



1. Climate change accelerates virtually all relevant corrosion mechanisms. The report clearly shows that rising temperatures, higher humidity, more extreme precipitation and increasing $CO_2$ concentrations lead to higher corrosion rates in concrete and steel structures. Particularly affected: reinforcing steel in concrete; unprotected or coated steel; coastal and offshore structures at risk of corrosion
2. Carbonation in concrete is occurring significantly faster. Higher $CO_2$ concentrations and temperatures accelerate the depth of carbonation.→ This leads to earlier corrosion of the steel within the concrete. Key factors: warmer conditions → faster $CO_2$ diffusion; increasing humidity → faster carbonation process. Changes in concrete moisture content → greater fluctuation dynamics → crack formation
3. Chloride-induced corrosion is increasing sharply in coastal regions. Rising sea levels, more severe storm surges and increased aerosol pollution lead to: greater chloride ingress into concrete; shorter service life of ports, offshore structures and coastal protection works; rising maintenance costs in maritime regions; increased risk of failure in existing structures. Particularly critical: Southern and Western Europe. 4 Steel corrosion in the atmosphere is increasing due to temperature extremes and humidity. For unprotected or coated steel structures, the following applies: More corrosion cycles due to more frequent wet/dry cycles; higher average humidity; increased atmospheric pollution → significantly higher corrosion rates in Central and Southern Europe
4. Extreme events (heat, heavy rain, flooding) are becoming a systemic risk. The report emphasises that extremes cause not only short-term damage but also long-term effects: coatings degrade more rapidly; concrete cracks develop due to thermal stresses; structures reach their corrosion limits more frequently; critical infrastructure (bridges, energy facilities, industry) is put at risk


© Fraunhofer IPA

# Besser Lackieren: Smart Steel

## Aktivitäten der EU zum Thema Korrosion




6. Many current standards are not designed to cope with future climate conditions. Eurocodes are based on historical climate data; material properties and exposure classes need to be adjusted. Service life projections are often overly optimistic. Recommendation: climate-projected safety factors and life-cycle models.
7. Significant additional economic costs for industry and infrastructure. Rising maintenance and repair costs; higher life-cycle costs, particularly in construction, transport, energy and water management. Need for preventive investments (e.g. corrosion-resistant steels, coatings, climate adaptation)
8. Recommended countermeasures. Materials & construction methods: more corrosion-resistant steels, optimized concrete cover, highly durable coatings, polymer-based concretes for higher chloride resistance. New exposure classes: regional climate models to be taken into account; service life assessment under future scenarios (up to 2100); operation: more intensive inspection and monitoring technologies; adjustment of maintenance intervals

# Besser Lackieren: Smart Steel

## Aktivitäten mit Japan zum Thema Korrosion



**Wind Turbine Blade Inspection**

**1. Drone-based Inspection**
High-resolution imaging enables efficient and accurate blade inspections.

**2. Blade Condition Monitoring**
Acoustic and vibration sensors continuously monitor blade condition and detect early signs of damage.

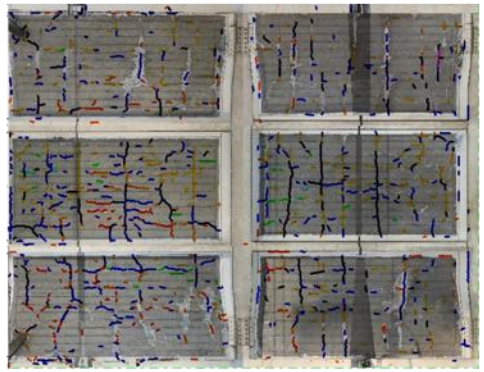
**3. AI & Data Management**
Inspection and maintenance data are integrated and analyzed using AI to improve monitoring and maintenance planning.

→ From periodic inspection to continuous condition monitoring

Source and Image: Eurus Energy (2025)



**1. Digital Image-Based Bridge Inspection**
Bridge inspection using digital cameras, enabling inspectors to capture images on site and conduct detailed analysis afterwards.



**2. AI-Based Crack Detection**
AI detects cracks from digital images, including images captured during nighttime inspections, supporting more efficient and less labor-intensive inspection.



**3. AI-Based Corrosion Detection**
AI image analysis automatically detects and visualizes corrosion on bridge structures, supporting efficient damage assessment.

Images: Canon Inc. May 19, 2025
Source: Anabuki et al. (2025)


© Fraunhofer IPA



Es sind neue Ansätze im Korrosionsschutz gefragt. Gesetzliche Anforderungen und Vorschriften sowie die Nachfrage nach Qualität, Effizienz und der Fähigkeit, Konzepte zu planen, zwingen uns zu einem Umdenken.

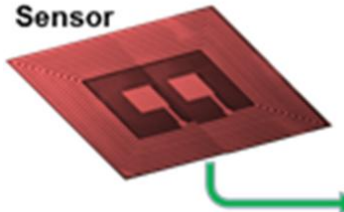
Welche Alternativen gibt es zu Korrosionsschutzmitteln auf Zinkbasis? Wie lässt sich der Korrosionsschutz verbessern?

Wie lässt sich Korrosion frühzeitig erkennen oder sogar ganz vermeiden??

# Besser Lackieren: Smart Steel

## FhI IPA Technology Initiative Graphen Rich Primer:




| | |
|---|---|
| clearcoat | (40 µm) |
| basecoat | (10-20 µm) |
| primer surfacer | (35 µm) |
| e-coat | (20 µm) |
| metal substrate | |



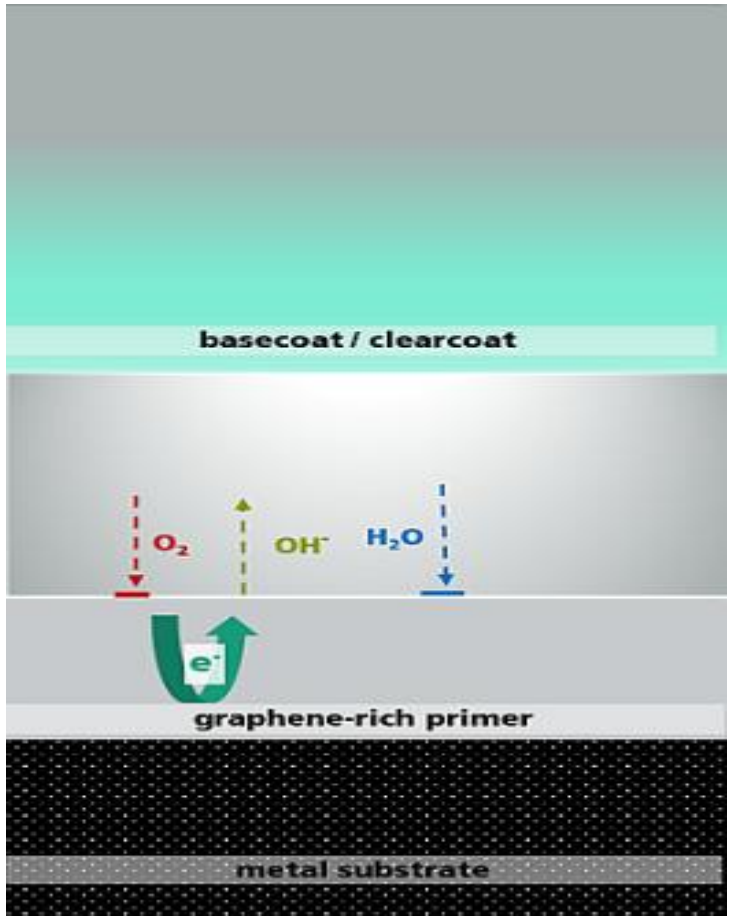
CC BY NC ND

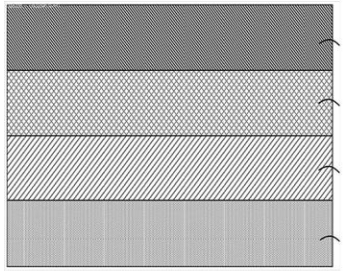


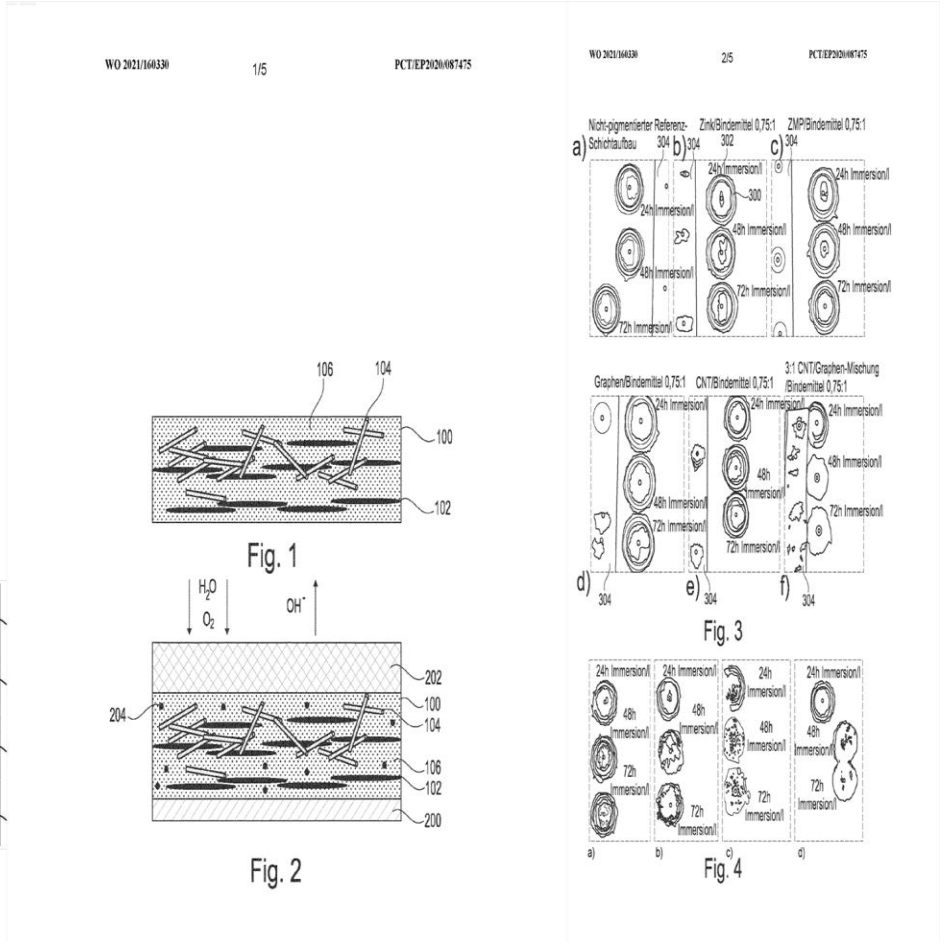
© Fraunhofer IPA

# Besser Lackieren: Smart Steel

## FhI IPA Technology Initiative Graphen Rich Primer:






CC BY NC ND

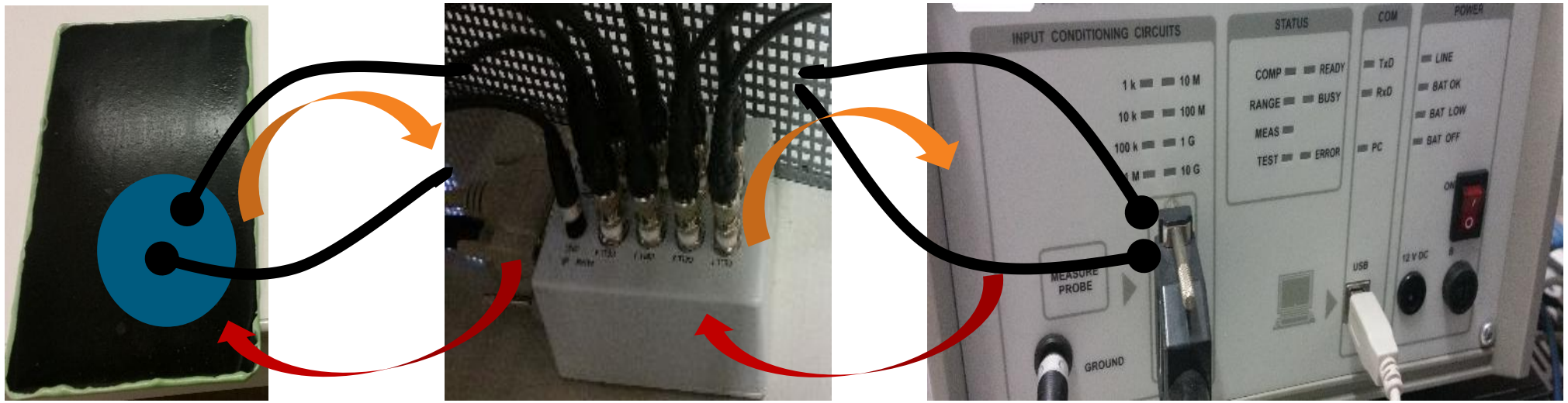


© Fraunhofer IPA

# Besser Lackieren: Smart Steel

## FhI IPA Technology Initiative Graphen Rich Primer:

**Sensor** **Data transfer** **Data analysis**





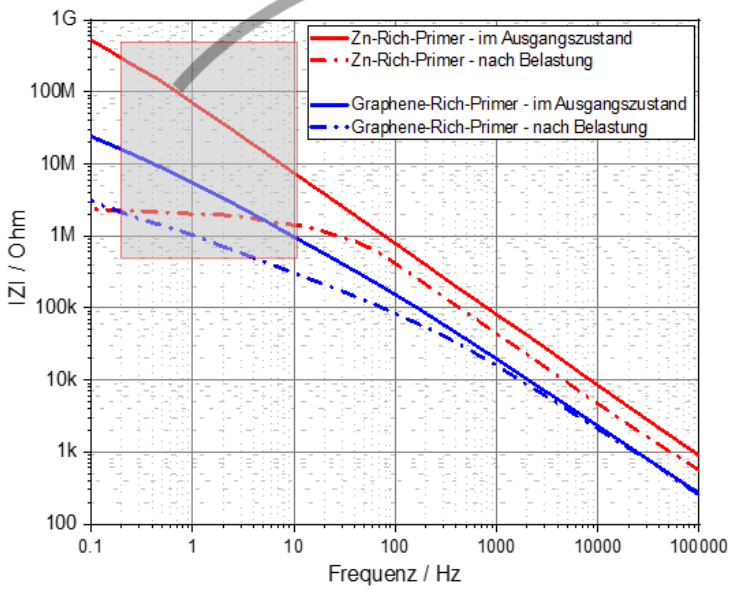
© Fraunhofer IPA

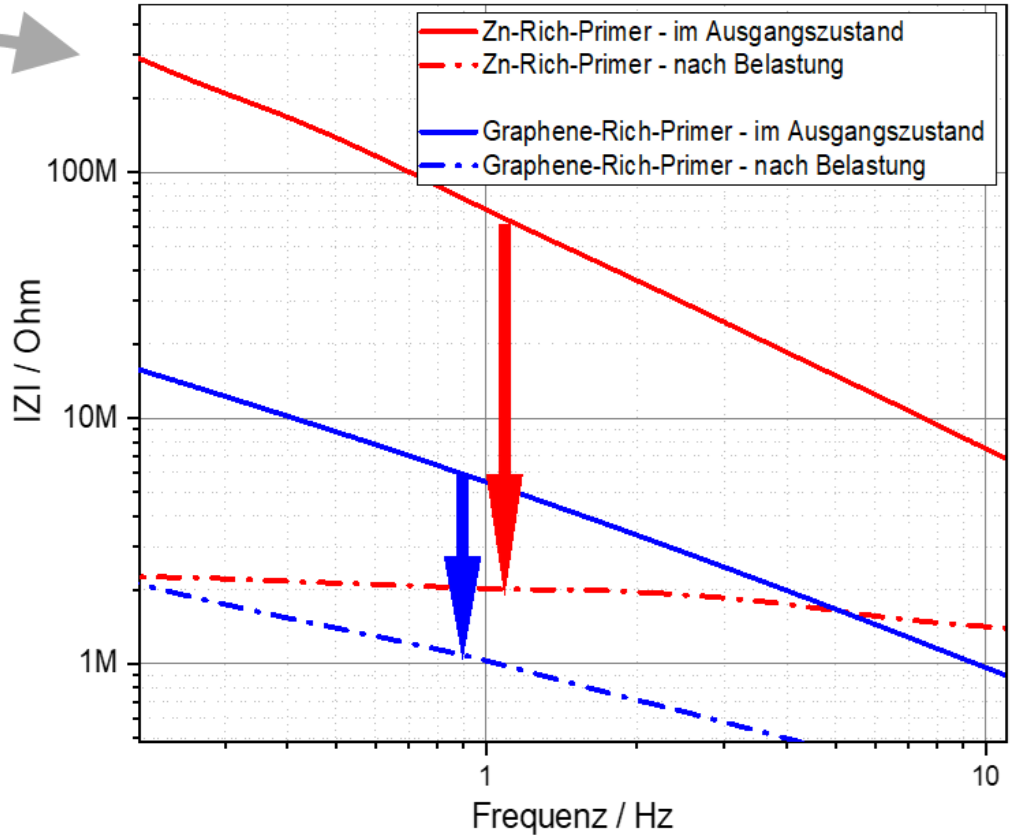
Restricted

# Besser Lackieren: Smart Steel

## FhI IPA Technology Initiative Graphen Rich Primer: Passive Eigenschaften

### Graphene-Rich Primer vs. state of the art Zn-Rich Primer




CC BY NC ND

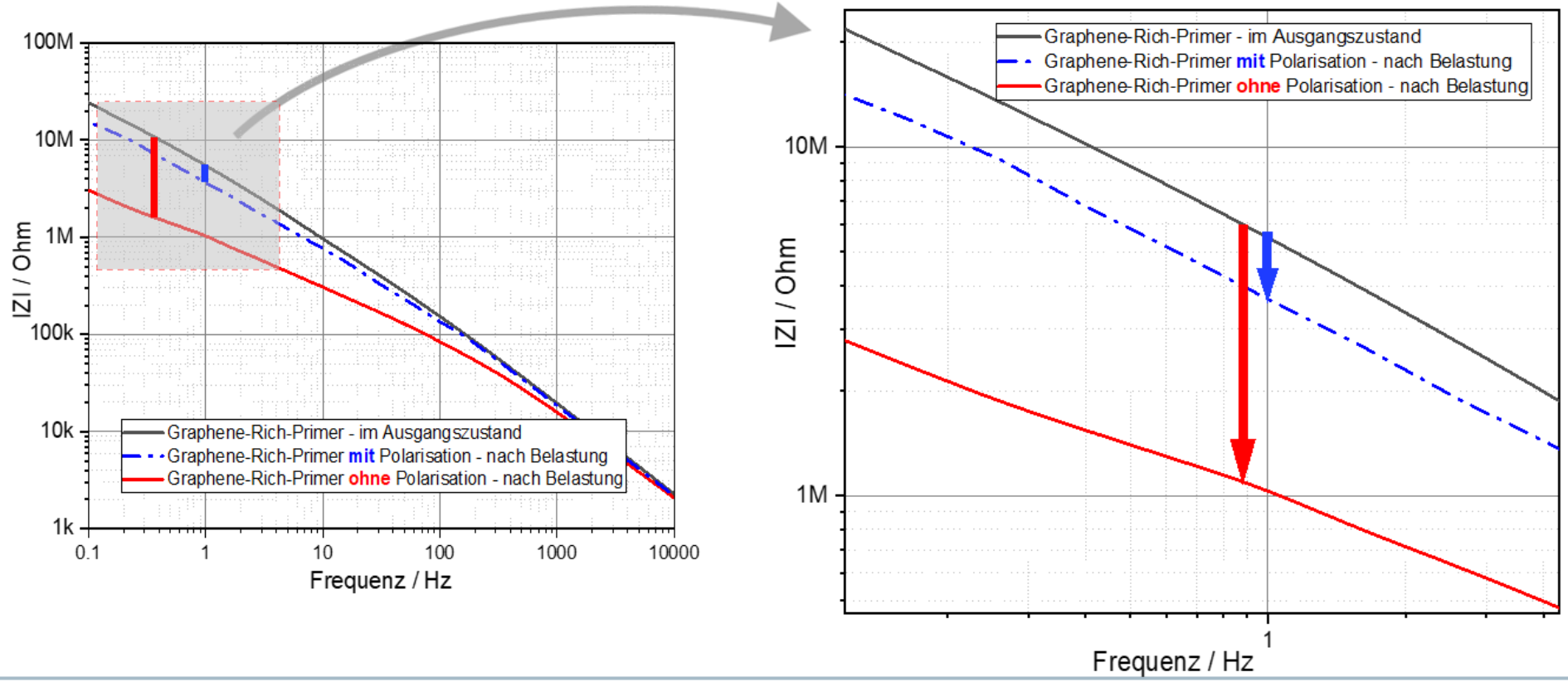


© Fraunhofer IPA

# Besser Lackieren: Smart Steel

## FhI IPA Technology Initiative Graphen Rich Primer: Aktive Eigenschaften

### Graphene-Rich Primer mit/ohne Polarisation





© Fraunhofer IPA

Restricted

# Besser Lackieren: Smart Steel

## Graphen Rich Primer  ist überdimensioniert ?

| System | Erstinvestition (€/m²) | Wartungsintervall (Jahre) | Kapitalisierte Gesamtkosten über 50 J. (€/m², bei 3 % Diskont) |
|---|---|---|---|
| Reines Beschichtungssystem (Epoxid + PU, 240 µm) | 45–60 | 12–15 | 150–220 |
| Feuerverzinkung (85 µm) + kein Decklack | 55–70 | 30–40 (ggf. Reparatur) | 90–140 |
| Duplex (HDG 85 µm + Beschichtung 2×80 µm) | 90–120 | 40–50 | 100–160 |
| IPA Graphen Rich Primer | ?? | Keine Wartung notwendig. Betriebssicher über Lebensdauer der Konstruktion | Erstinvestition + Stromkosten (Polarisierung) |

*Quelle: Zusammenfassung aus EGGA- und GGK-Daten*


© Fraunhofer IPA

Restricted

# Besser Lackieren: Smart Steel

## Graphen Rich Primer ist eine gute Lösung für wartungsintensiven Korrosionsschutz

### GRAPHEN RICH PRIMER

Für Offshore-Wind, maritime Infrastruktur und Chemieparks

**30–50 %**
**Zielpotenzial geringerer Lebenszykluskosten**
*projektspezifisch zu validieren*

### 1 DIE HERAUSFORDERUNG

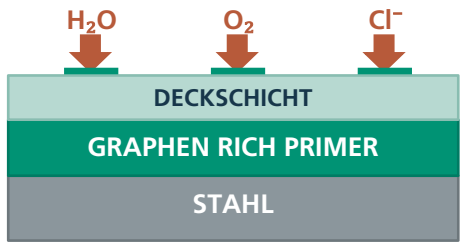
**OFFSHORE-WIND**
schwer zugänglich

**MARITIM**
Salz · Wasser · Dockzeit

**CHEMIEPARKS**
aggressive Medien

Kernproblem
**Inspektionen, Reparaturen und Stillstände treiben die Kosten.**

### 2 DIE LÖSUNG




**Dichte Barriere bremst den Eintrag korrosiver Medien.**

**SCHUTZ** Barriere | **ERKENNEN** Monitoring | **REAGIEREN** Polarisation

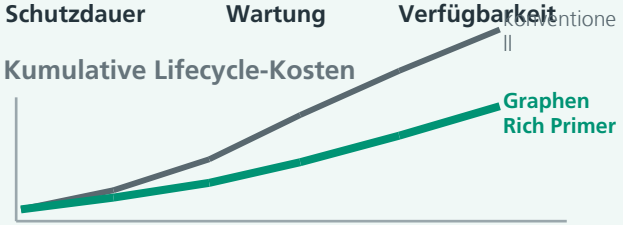
### 3 DER BUSINESS CASE

**Weniger Eingriffe. Mehr Verfügbarkeit.**

**2–3×**
längere Schutzdauer

↓ weniger Wartung

↑ höhere Verfügbarkeit




**Größter Hebel, wenn Wartung teuer und komplex ist**

**JE SCHWIERIGER DIE WARTUNG, DESTO GRÖSSER DER NUTZEN DES GRAPHEN RICH PRIMERS.**

CC BY NC ND

© Fraunhofer IPA
Ivica KOLARIĆ
Restricted

# Besser Lackieren: Smart Steel

## Wie gelingt der Wechsel vom Lackverkauf zum Korrosionsschutz-as-a-Service?

**HEUTE**

### Lack verkaufen

Produkt- und Transaktionsgeschäft

Wert entsteht durch Material und Oberflächenbehandlung.

→

**WECHSEL**

**MORGEN**

### Korrosionsschutz als Service

Ergebnis- und Lebenszyklusgeschäft

Wert entsteht durch Schutzwirkung, Verfügbarkeit und Partnerschaft.

**STRATEGISCHE KONSEQUENZ**

| | | |
|---|---|---|
| Produkt | → | **Ergebnis** |
| Einmaliger Verkauf | → | **Laufende Kundenbeziehung** |
| Materiallieferant | → | **Lebenszykluspartner** |

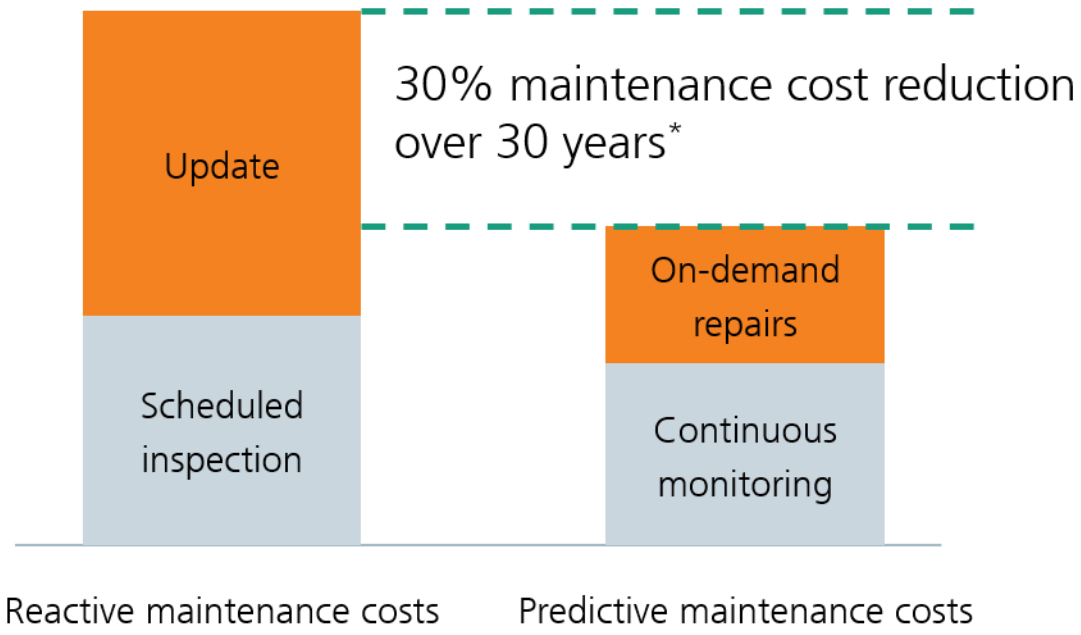

© Fraunhofer IPA

# Besser Lackieren: Smart Steel

## Japan Mehrwert in der Instandhaltung

**Smart Steel enables continuous monitoring and predictive maintenance.**

- **Initial cost vs. lifecycle savings**
- **Reduced downtime & repair frequency**
- **Safety and environmental benefits**




*Source: MLIT, Japan. (2026).


© Fraunhofer IPA

# Besser Lackieren: Smart Steel

## Graphen Rich Primer: Das Ziel!



Korrosionszustand und Instandhaltungsanforderungen

- Belastung und Auslastung der Infrastruktur
- Geografische und klimatische Daten
- Verkehrsinformationen
- Verfügbarkeit von Instandhaltungsmaßnahmen

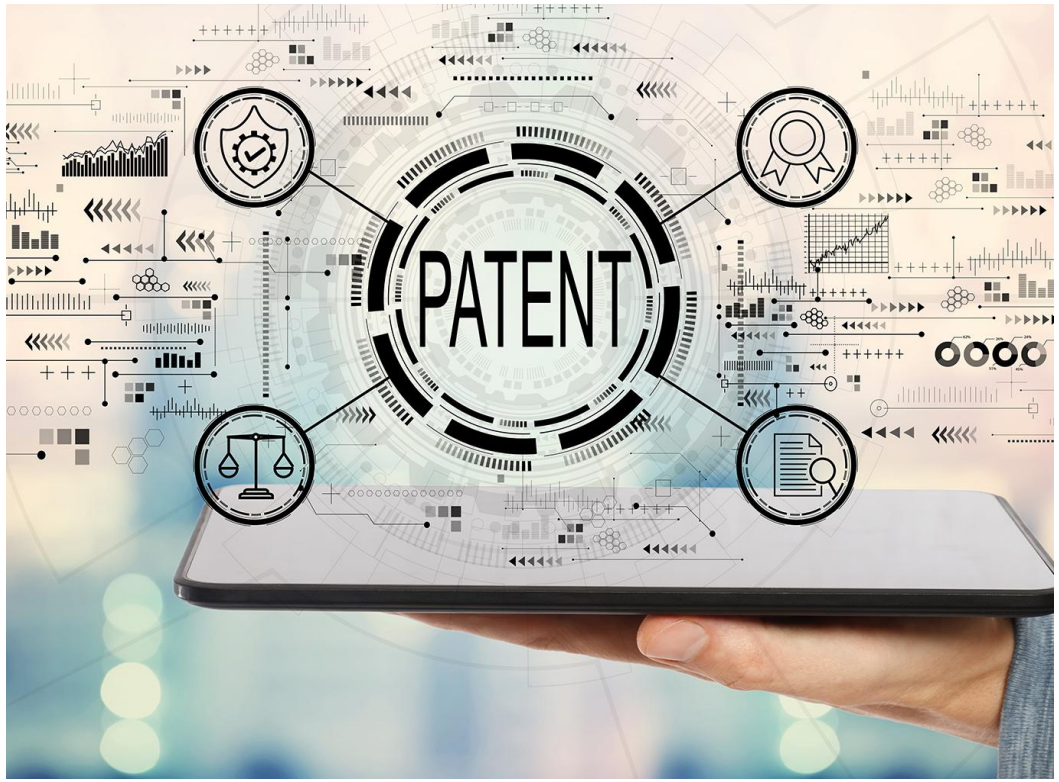
*Ergebnis:*

*„KI-basiertes Wartungsauftragsbuch Empirische Korrosionsdaten für die Entwicklung einer Simulation der Korrosionsdynamik“*


© Fraunhofer IPA

# Besser Lackieren: Smart Steel

## Patentschutz in sieben Zielmärkten erteilt




**7** **ZIELMÄRKTE**

**mit erteiltem Patentschutz**

**EUROPA · 5**

Deutschland
Dänemark
Frankreich
Großbritannien
Polen

**ASIEN · 2**

China
Korea

**LIZENZIERUNG FLEXIBEL STRUKTURIERBAR**

**Region · Produkt · Anwendung · Laufzeit**

Ausgestaltung individuell und kombinierbar.


© Fraunhofer IPA

Restricted

# Besser Lackieren: Smart Steel

## Die Herausforderungen : Aktueller Entwicklungsstand

### DREI DISPERSIERANLAGEN – VON LABOR BIS INDUSTRIE

| LABORDISPERSIERVORRICHTUNG | TECHNIKUMSANLAGE | INDUSTRIEANLAGE |
|---|---|---|
|  |  |  |
| **IKA® ULTRA-TURRAX® T 10 basic** | **YSTRAL® Conti-TDS 15** | **NETZSCH® MasterMix® 2000/300** |
| Durchsatz (Arbeitsvolumen): 0,2 – 1.000 ml | Durchsatz (Arbeitsvolumen): 5 – 50 Liter | Durchsatz (Arbeitsvolumen): 500 – 10.000 Liter |
| Typischer Durchsatz pro Batche: bis 1 Liter | Typischer Durchsatz pro Stunde: 50 – 200 L/h | Typischer Durchsatz pro Stunde: 5.000 – 60.000 L/h |
| Rühr-/Dispergierwerkzeug: S 10 N – 8 G (Stator/Rotor) | Rühr-/Dispergierwerkzeug: Dissolver Disc + YSTRAL® Dispergierwerkzeug (Generator-Stator) | Rühr-/Dispergierwerkzeug: Rotor-Stator-Systeme (verschiedene Statorgrößen), Dissolver, Zirkulationssystem |
| Drehzahlbereich: 3.000 – 30.000 $min^{-1}$ | Drehzahlbereich: 1.000 – 6.000 $min^{-1}$ | Drehzahlbereich: 300 – 3.600 $min^{-1}$ |
| Max. Umfangsgeschwindigkeit: 27 m/s | Max. Umfangsgeschwindigkeit: 30 m/s | Max. Umfangsgeschwindigkeit: 40 m/s |
| Leistung: 125 W | Antriebsleistung: 7,5 – 15 kW | Antriebsleistung: 55 – 315 kW |
| Abmessungen (B x T x H): 65 x 75 x 240 mm (ohne Stativ) | Abmessungen (B x T x H): 1.200 x 800 x 2.000 mm | Abmessungen (B x T x H): 3.000 x 2.000 x 3.500 mm (typisch) |
| Gewicht: 0,7 kg | Gewicht: ca. 350 kg | Gewicht: ca. 3.000 – 6.000 kg |
| **Anschaffungskosten (ca.): 1.200 – 1.800 €** | **Anschaffungskosten (ca.): 60.000 – 110.000 €** | **Anschaffungskosten (ca.): 300.000 – 800.000 €+** |
| Einsatzbereich: F&E, Formulierungsentwicklung | Einsatzbereich: Technikum, Prozessentwicklung, Vorproduktion | Einsatzbereich: Industrieproduktion, Großvolumen, 24/7-Betrieb |
| Besonderheiten: Sehr geringes Volumen, einfach zu reinigen, vielseitig einsetzbar | Besonderheiten: Kontinuierlich oder Batch, reproduzierbare Ergebnisse, flexible Konfiguration | Besonderheiten: Höchster Durchsatz, robuste Ausführung, CIP/SIP-fähig, ATEX-Optionen |

Hinweis: Durchsatzangaben sind abhängig von Produkt, Viskosität, Feststoffgehalt und Anlagenkonfiguration.

**VOM LABOR ZUR SKALIERUNG**

1. **PoC abgeschlossen**
   Technische Machbarkeit bestätigt
2. **Labormaßstab**
   Graphen-Rich-Primer am Fraunhofer IPA entwickelt
3. **Upscaling vorbereitet**
   Partner identifiziert, erste Gespräche geführt

**NÄCHSTER SCHRITT**

## Gemeinsam skalieren?

Sprechen Sie uns an.


© Fraunhofer IPA

# VERANSTALTUNGSHINWEIS

Fraunhofer IPA

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

