

WavE – Verbundprojekt DiWaL

Entwicklung eines ressourceneffizienten Wassermanagement- und Anlagenkonzepts für Vorbehandlungs- und Tauchlackieranlagen unter Nutzung der Elektroimpulstechnologie zur Dekontamination von industriellen Wässern und Lacken

November 2016 – April 2020

WavE - Verbundprojekt DiWaL



WavE – Verbundprojekt DiWaL

Entwicklung eines ressourceneffizienten Wassermanagement- und Anlagenkonzepts für Vorbehandlungs- und Tauchlackieranlagen unter Nutzung der Elektroimpulstechnologie zur Dekontamination von industriellen Wässern und Lacken

November 2016 – April 2020

WavE - Verbundprojekt DiWaL




Impulstechnik / Biophysik

IFG
Mikro-/Molekularbiologie

EISENMANN

Anlagenbau

INEC 
INSTITUTE FOR
INDUSTRIAL ECOLOGY
Innovations- und
Nachhaltigkeitsanalysen

FreiLacke

Farbhersteller: Anodische Tauchlacke



Kathodische Tauchlacke

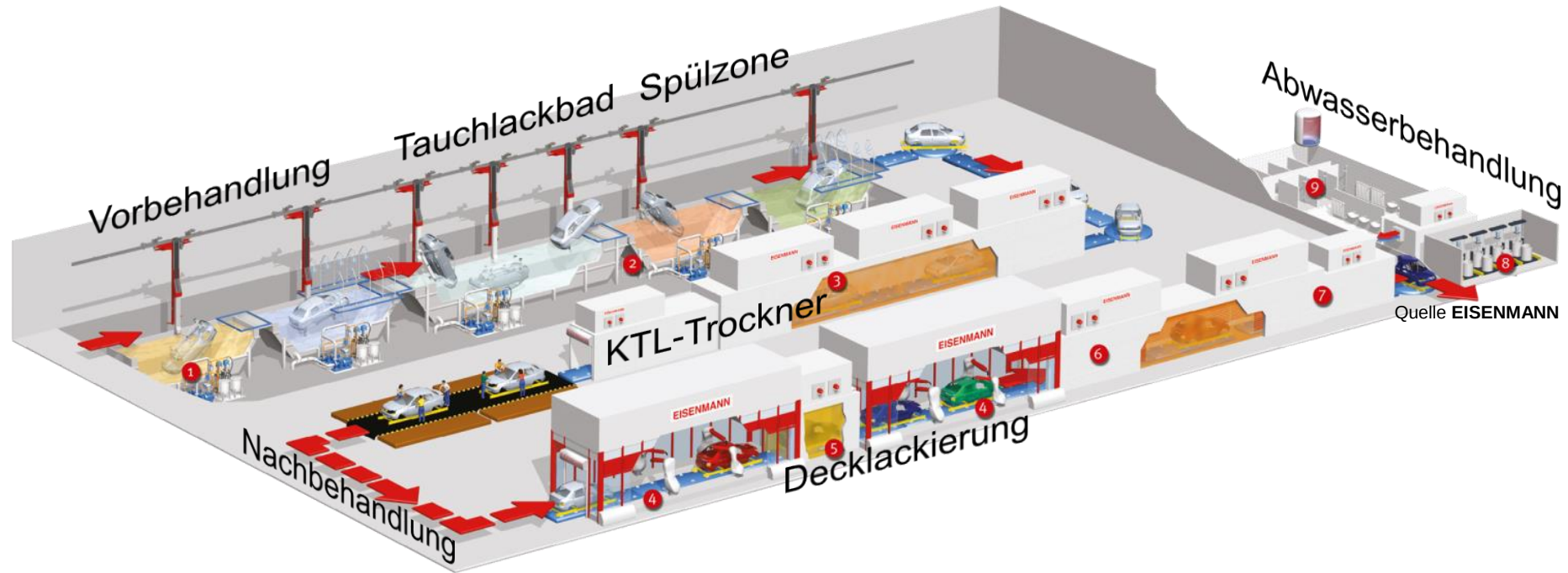
**BMW
GROUP**

Automobil-
Serienlackierung

GEFÖRDERT VOM

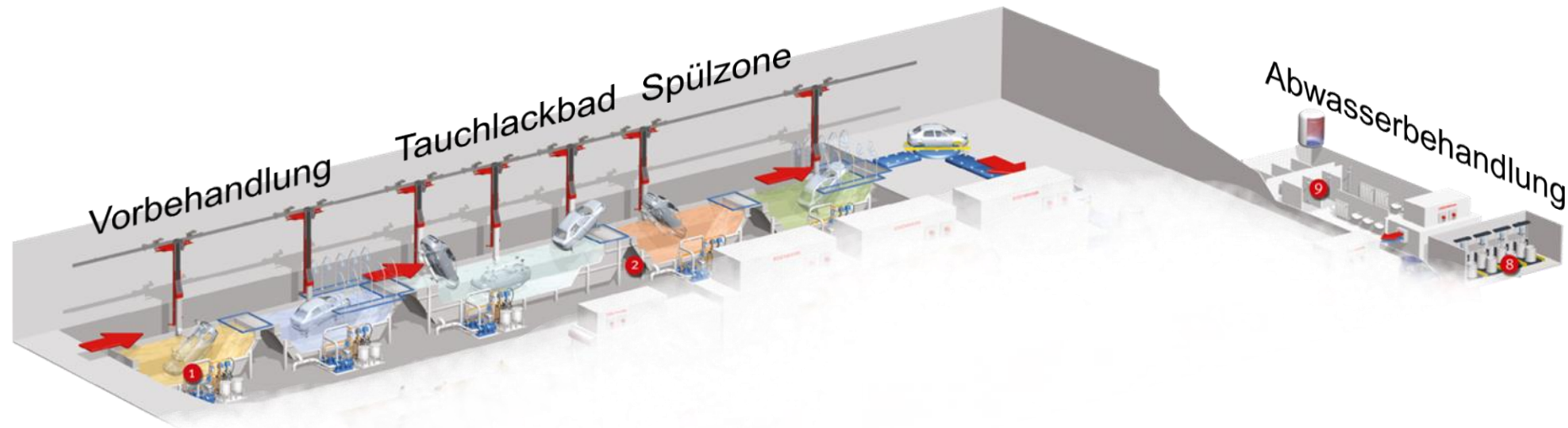


Anlagen zur Automobil Serienlackierung



- Elektrotauchlackierung ist der wasserintensivste Prozessschritt in der Automobilfertigung
- Wasservolumina europaweit: mehrere 1000 VBH/KTL-Anlagen x 1500-2000 m³ Gesamtbeckenvolumen pro Anlage
- Marktanteile: 95% kathodische Tauchlackierung (KTL), 5% anodische Tauchlackierung (ATL)

Aufgabenstellung in der Elektrotauchlackierung



Situation:

Bakterieller
Eintrag

Bio-
filme

Kontamination des
Lackbeckens

$>10^3$ KBE/ml

- Schlechte Beschichtungsqualität
- Erhöhter Verwurf von Prozesswasser
- Biozid-Einsatz, Eintrag ins Abwasser

Biozideinsatz: im Mittel 5000 kg Wirkstofflösung pro Anlage und Jahr (Bandbreite: 300 – 9000 kg/Anlage·a)

DiWaL:

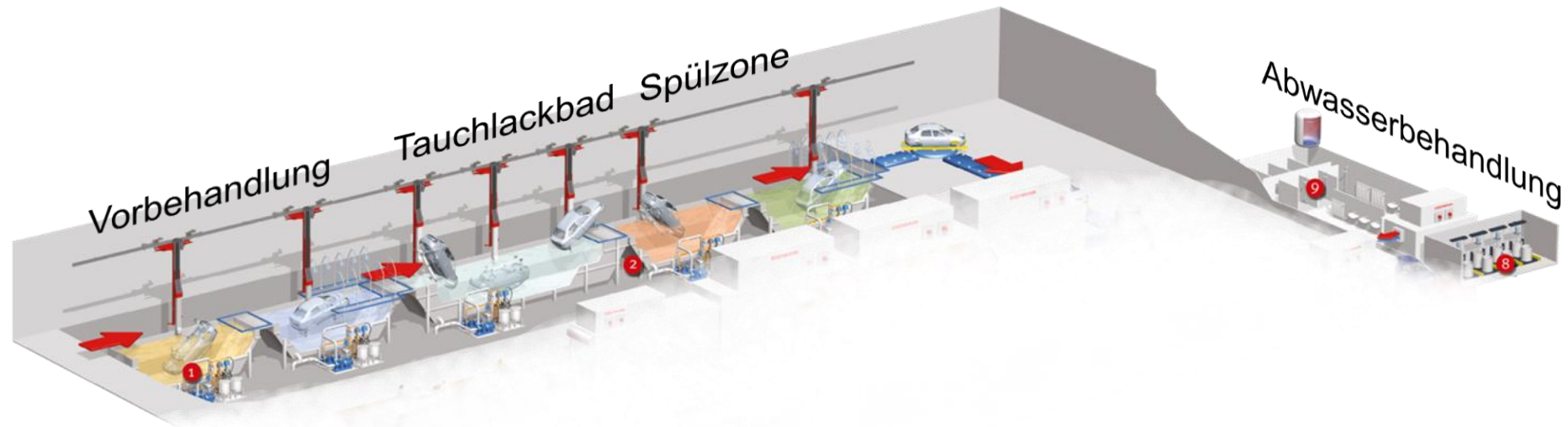
Unterbindung der
mikrobiellen
Belastung / EIB

Verbesserte
Kreislaufführung

- Reduktion Frischwasserbedarf
- Vermeidung von Bioziden
- geringeres Abwasseraufkommen

EIB: Elektroimpulsbehandlung

DiWaL – Projektstruktur



Projektablauf in vier parallelen Arbeitslinien:

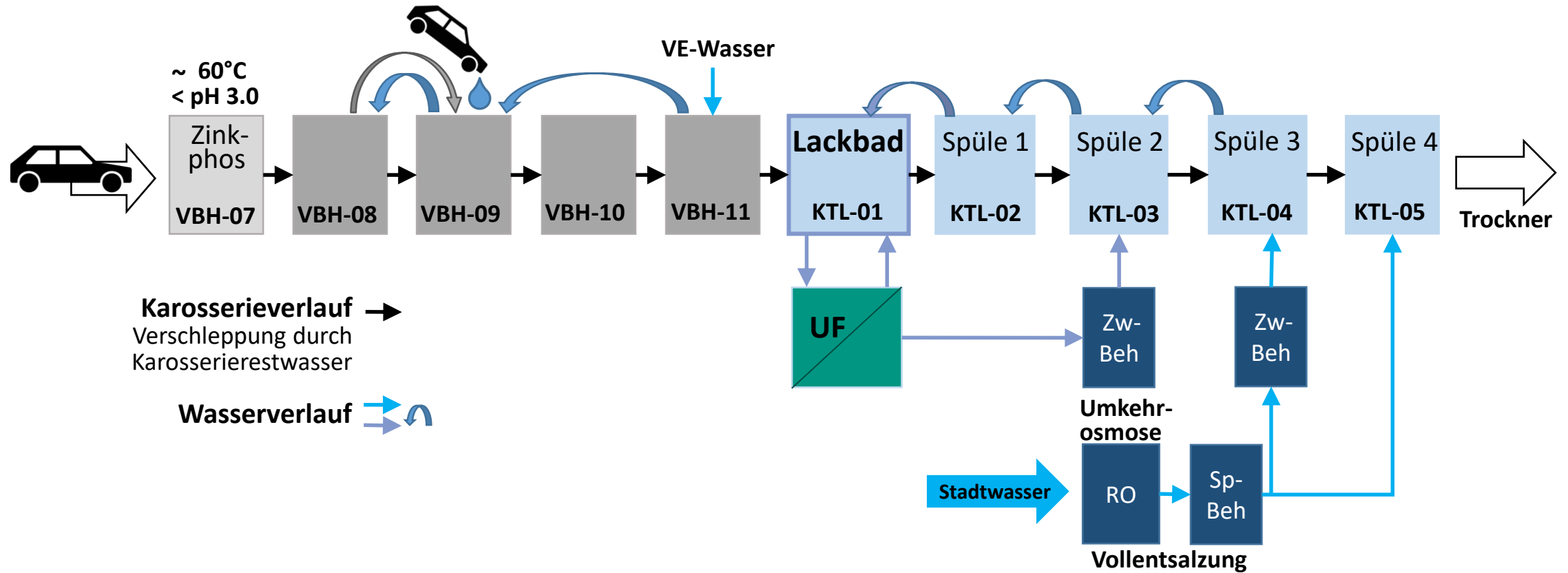
- Mikrobiologie im ETL-Prozess: Verkeimungslage, Eintragswege, Inaktivierung
- Biophysikalische und elektrochemische Prozessgrundlagen der EIB (1 ltr - 10 ltr Maßstab)
- Entwicklung und Bau einer Demo-Anlage (1 m³ – 10 m³ Maßstab) in Halbleitertechnik zur Gewinnung von Betriebs- und Performancedaten zur Elektroimpulsbehandlung
- Stakeholder-Dialog, Analyse von Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit

ETL: Elektrotauchlack/ierung EIB: Elektroimpulsbehandlung

Wasserwege in der Serienlackierung (KTL, Fertigung)

Vorbehandlung ab Zinkphosphatierung:

kathodische Tauchlackierung mit Spülzonen:



Verkeimungslage in der Serienlackierung (KTL, Fertigung)

Vorbehandlung ab Zinkphosphatierung:

Sphingomonas gimenis

Microbacterium maritypicum

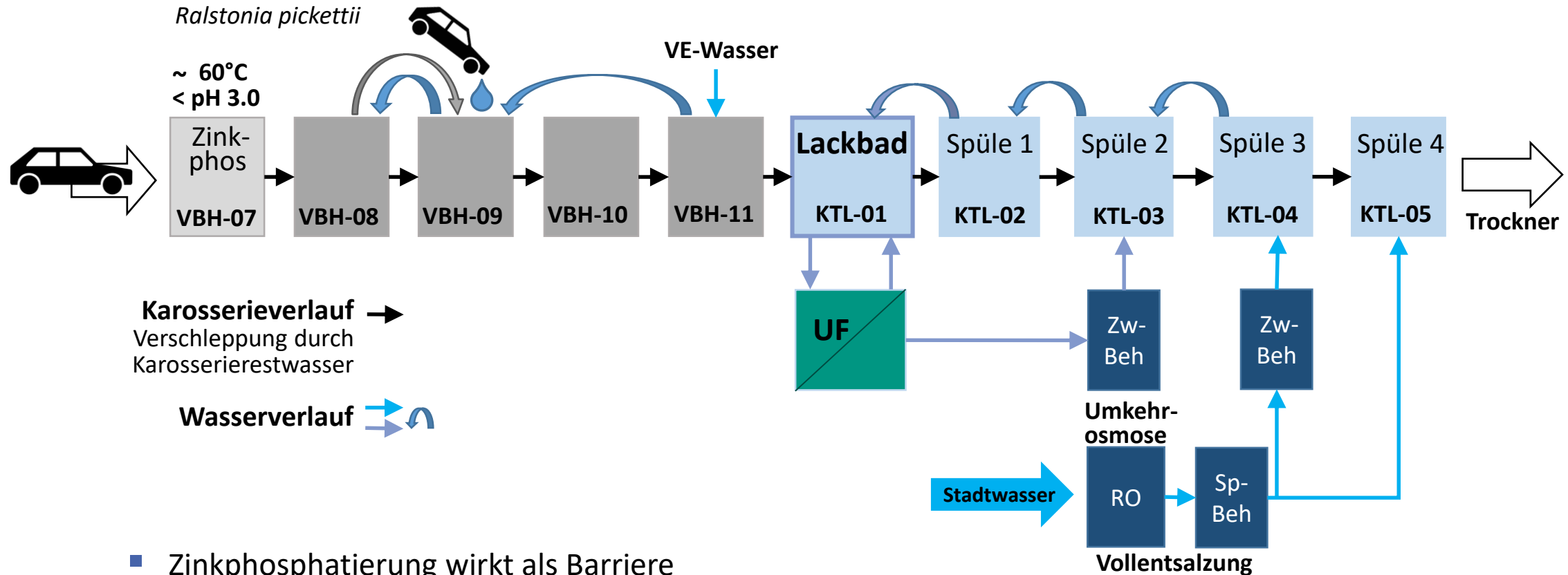
Burkholderia ambifaria / *B. cepacia*

Ralstonia pickettii

kathodische Tauchlackierung mit Spülzonen:

Burkholderia ambifaria / *B. cepacia*

Ralstonia pickettii

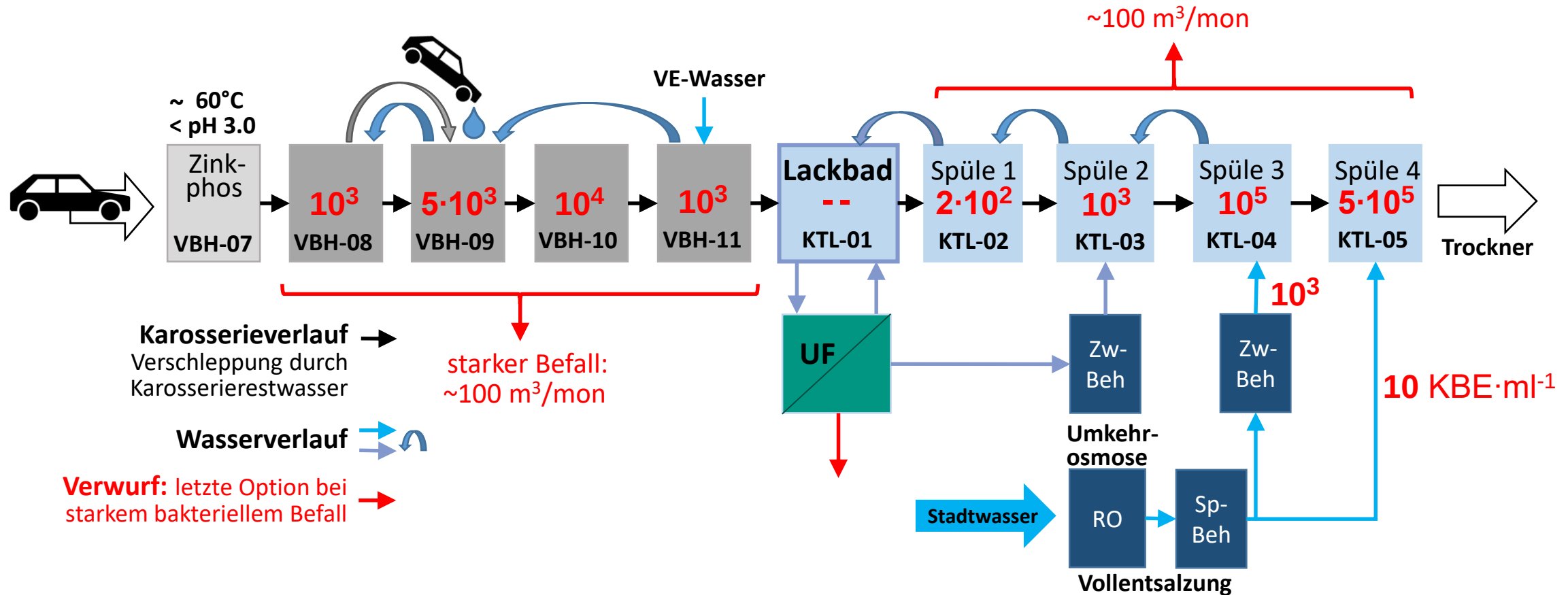


- Zinkphosphatierung wirkt als Barriere
- Bakterielle Population besteht aus effizient mittels EIB abzutötenden, gramnegativen Spezies.

Verkeimungslage in der Serienlackierung (KTL, Fertigung)

Vorbehandlung ab Zinkphosphatierung:

kathodische Tauchlackierung mit Spülzonen:

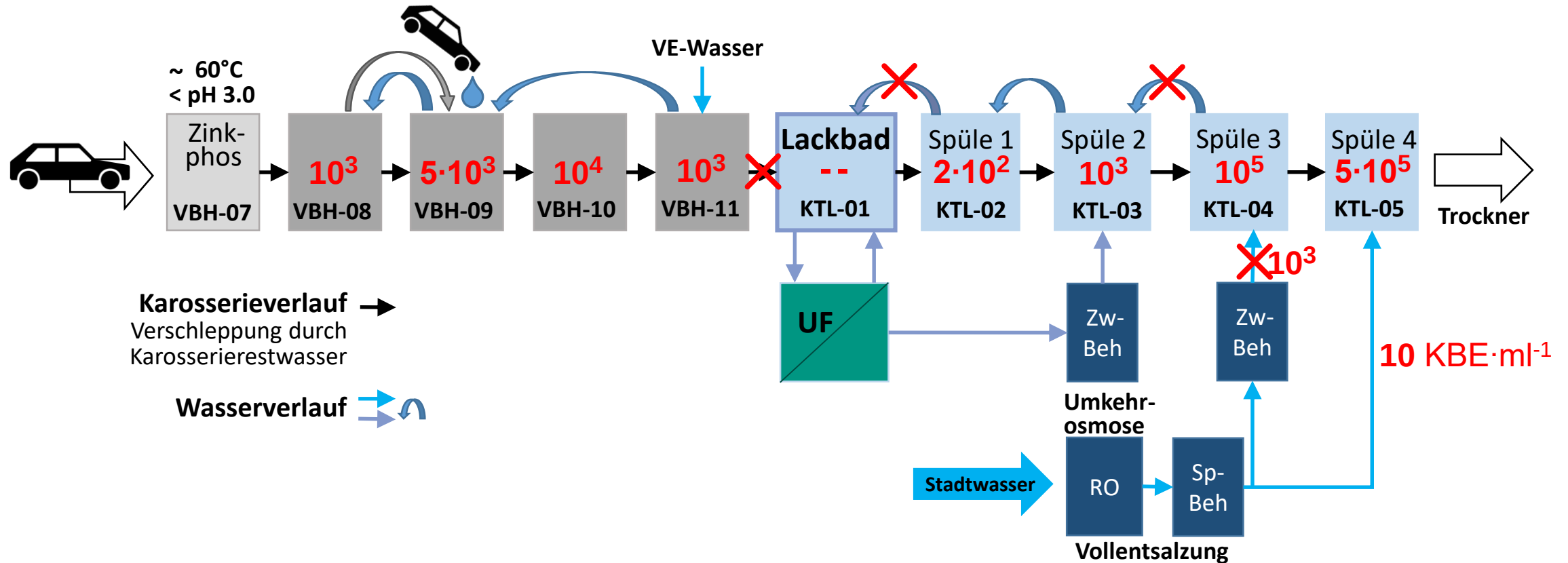


- starke bakterielle Kontamination erfordert in Extremfällen Beckenverwurf und physikalische Beckenreinigung

Verkeimungslage in der Serienlackierung (KTL, Fertigung)

Vorbehandlung ab Zinkphosphatierung:

kathodische Tauchlackierung mit Spülzonen:

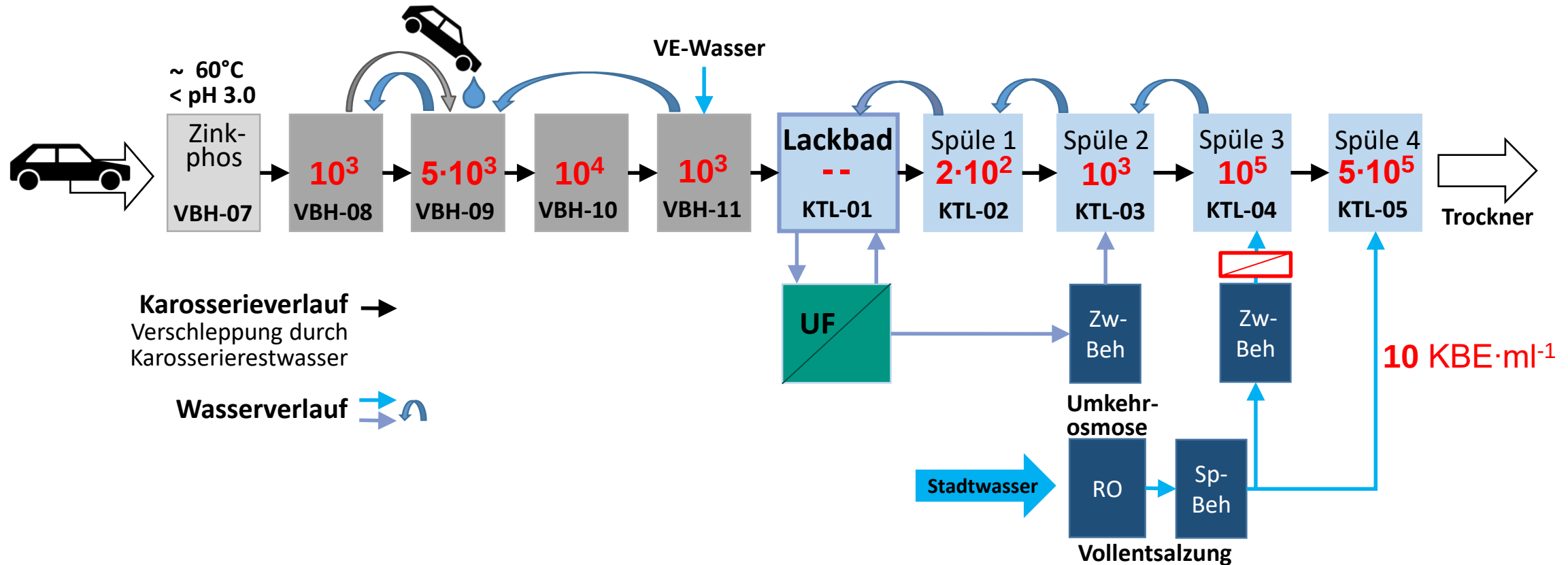


- Kontaminationsquellen, Eintragswege und Punkte mit Handlungsbedarf wurden identifiziert

Verkeimungslage in der Serienlackierung (KTL, Fertigung)

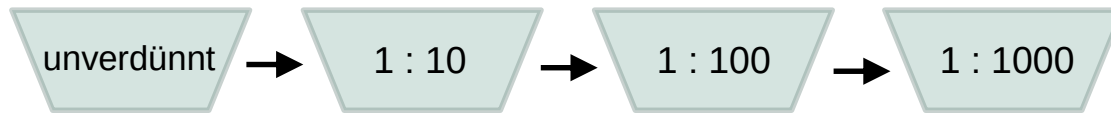
Vorbehandlung ab Zinkphosphatierung:

kathodische Tauchlackierung mit Spülzonen:

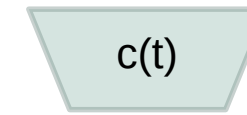
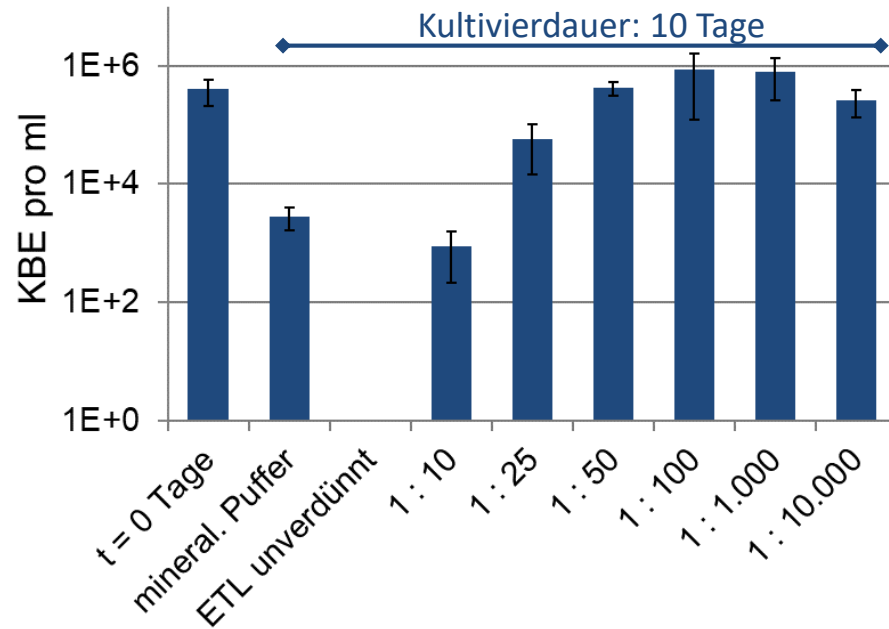


- Biologisches Monitoring ermöglicht kosteneffiziente Maßnahmen zur Entschärfung der Verkeimungslage

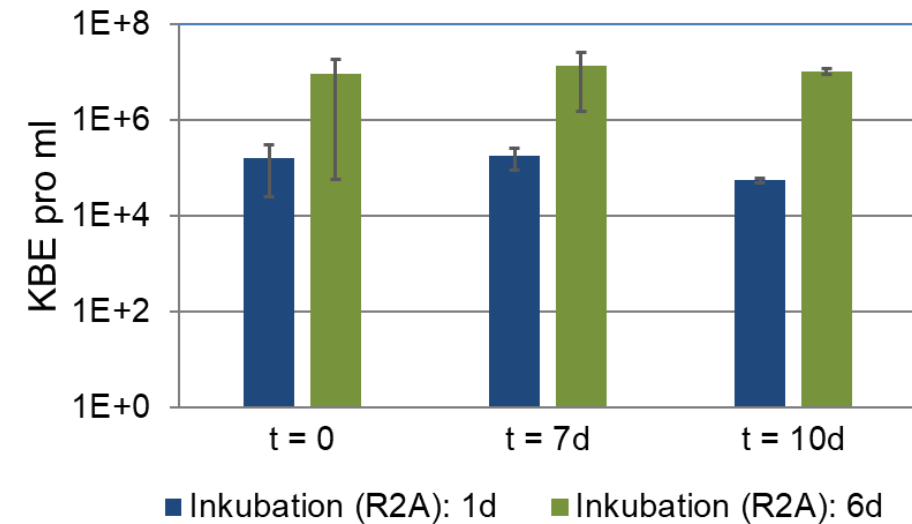
Bakterienwachstum im Elektrotacklack, Nachstellung im Labor



Lackprobe, fabrikneu, ohne Biozid



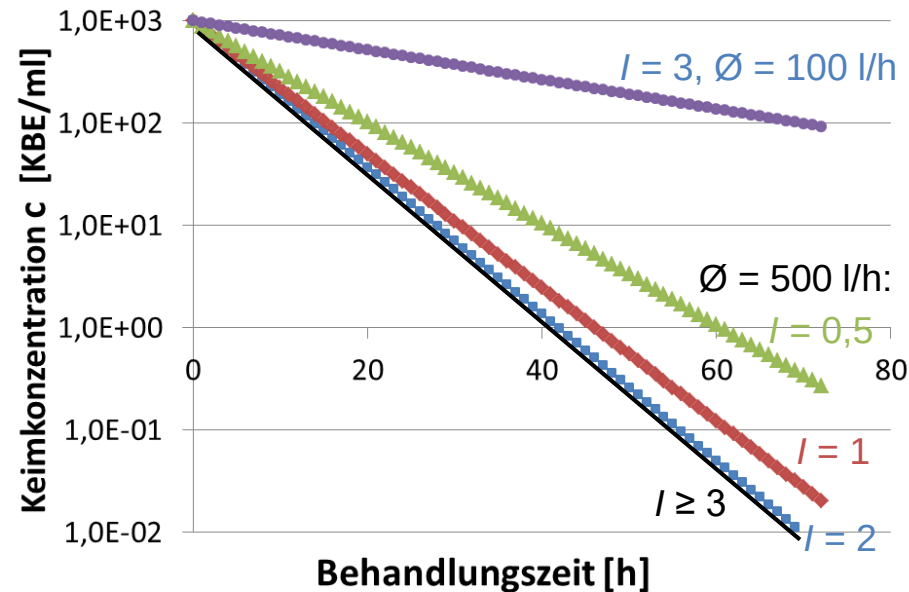
Verkeimte Lackprobe, vom ATL-Beschichter, ohne Biozid



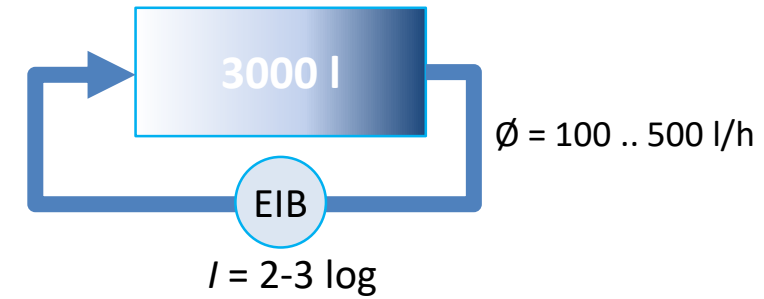
- In fabrikneuem ETL sterben die Bakterien ab.
- Bakterien persistieren in verdünntem ETL (Spülzonen) und in biozid-freiem ETL aus Lackierbetrieb.
- Zunahme der bakteriellen Konzentration im ETL-Becken beruht auf Eintrag * Wachstumsrate $\mu = 0$

Erforderliche Entkeimungsleistung, Modellrechnungen

Abhängigkeit der Keimkonzentration von
Durchfluss - Beckenvolumen - Abtötungsrate :



$$c(t) = c_0 e^{\mu \cdot t - \frac{\emptyset}{V_0} \cdot (1 - 10^{-I}) \cdot t}$$

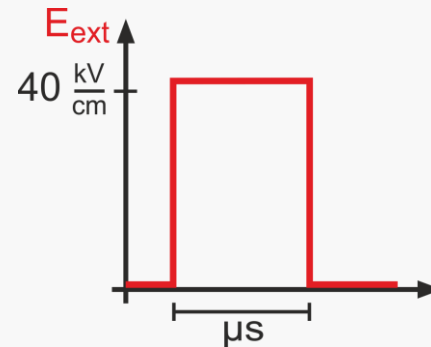
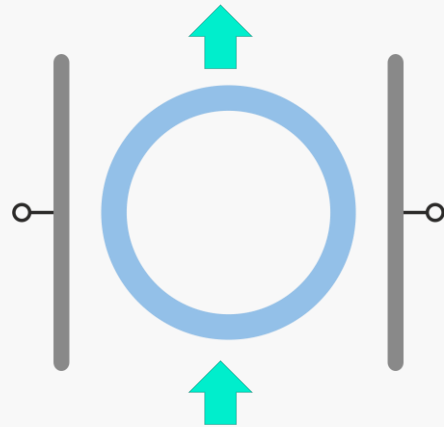


μ : bakterielle Wachstumsrate = 0
 c : bakterielle Konzentration
 $\emptyset$: Durchfluss EIB-Anlage
 V_0 : Beckenvolumen
 I : Inaktivierungsrate in Log-Stufen

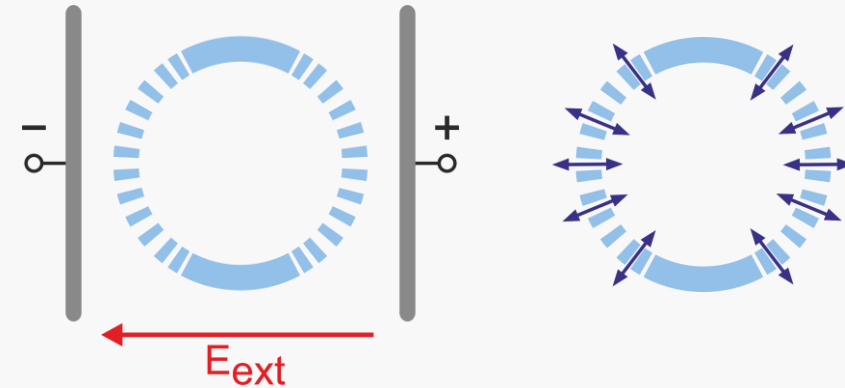
- Erforderliche Inaktivierungsrate: $1 < I < 2$
- $I > 2$ ist bewirkt keine weitere Verkürzung der Behandlungszeit
- Der erzielbare Durchfluss $\emptyset$ bei vergleichsweise geringer Inaktivierungsleistung ist ausschlaggebend

Elektroimpulsbehandlung (EIB) zur Abtötung von Bakterien

Permeabilisierung der Plasmamembran durch kurze elektrische Feldimpulse



lang anhaltender Stoffaustausch

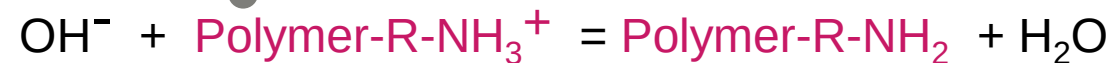
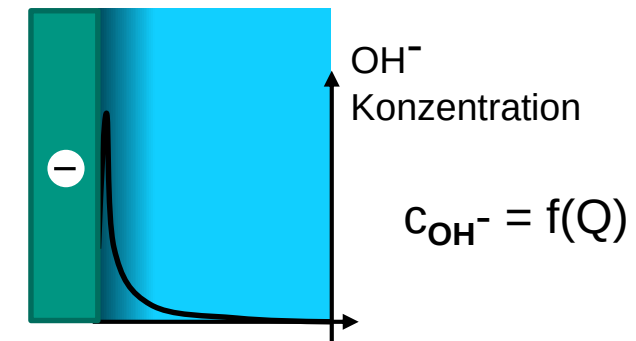
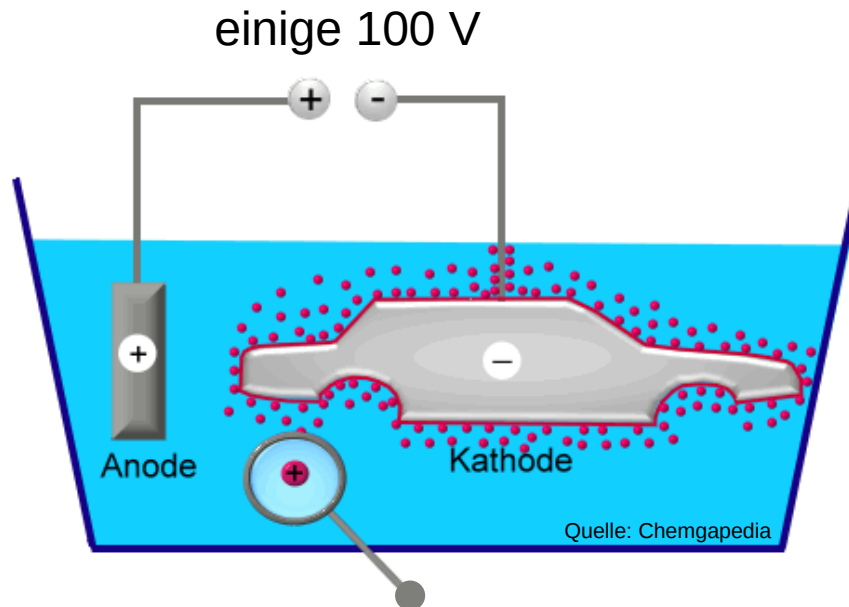


Eigenschaften der bakteriellen Inaktivierung mittels EIB:

- In trüben Medien uneingeschränkt anwendbar, Wirkung rein physikalisch
- Keine Resistenzbildung der Mikroorganismen gegen EIB
- Energiebedarf: 40-80 kJ/l, Abtötung von Bakterien: $I = 2 - 3$ Log-Stufen ; $I_{\text{max}} = 6$ Log

W Frey, *J Membrane Biol* **246** 2013; C Gusbeth, *Chemosphere* **75** 2009; C Gusbeth, *Acta Phys Pol A* **115** 2009; A Rieder, *J Appl Microbiol* **105** 2008

Abscheidung von kathodischem Tauchlack (KTL)

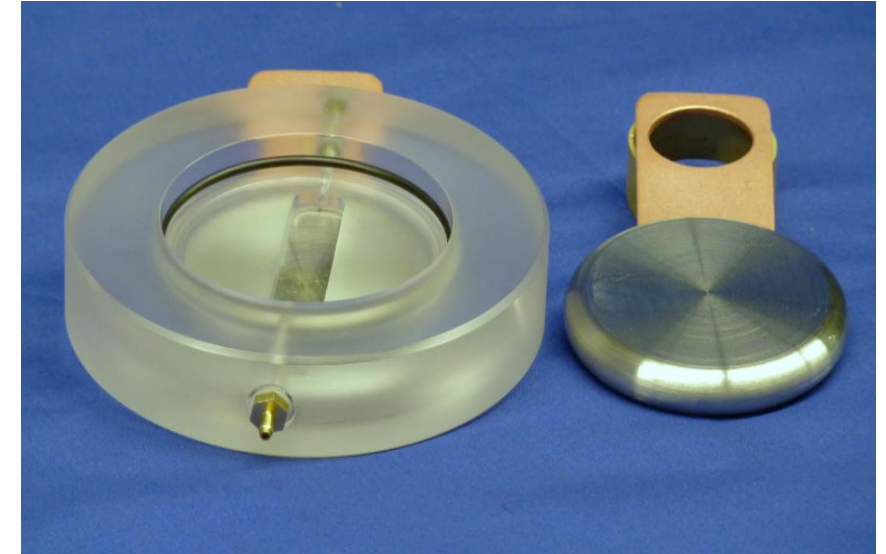
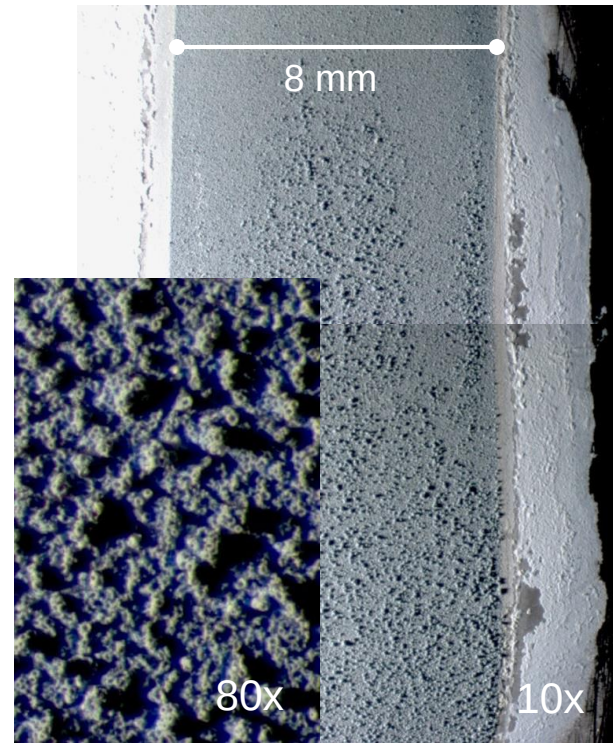
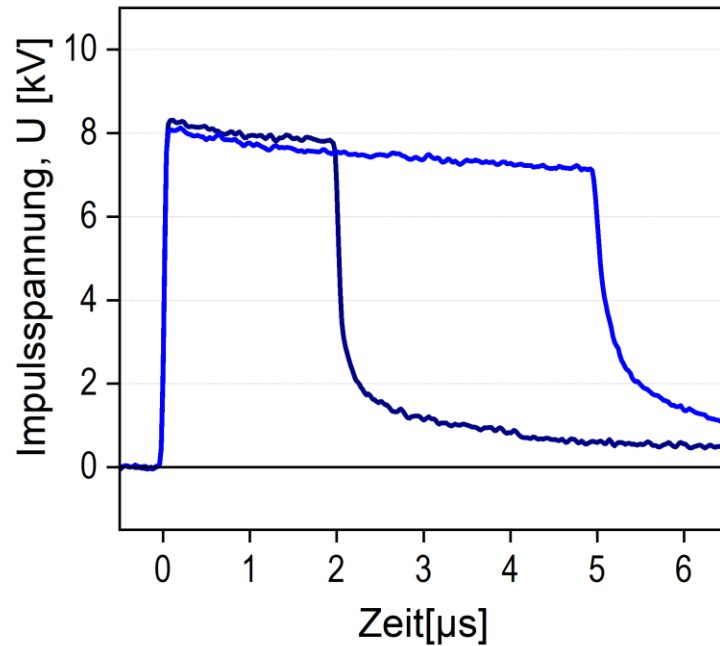


Bindemittel:
wasserlöslich

unlöslich

- Kontroverse Anforderung: Elektrophoretisch aufzutragener Lack darf sich nicht in einer EIB-Anlage abscheiden
- Zur Abscheidung ist eine Mindestkonzentration an OH^- erforderlich, hängt von geflossener el. Ladung Q ab

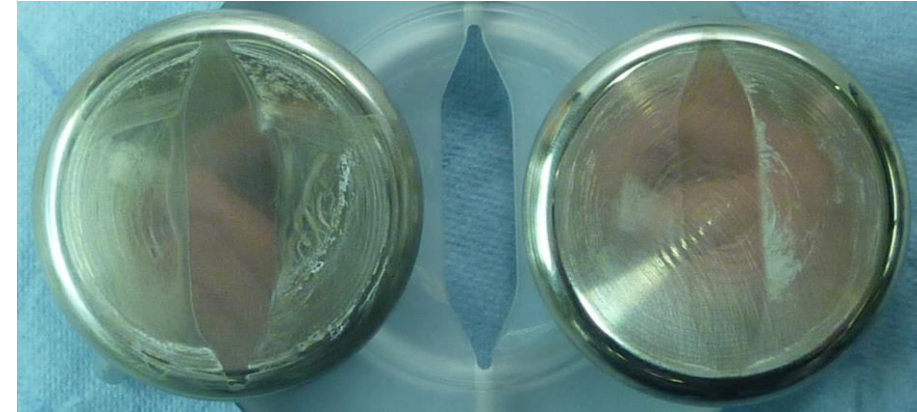
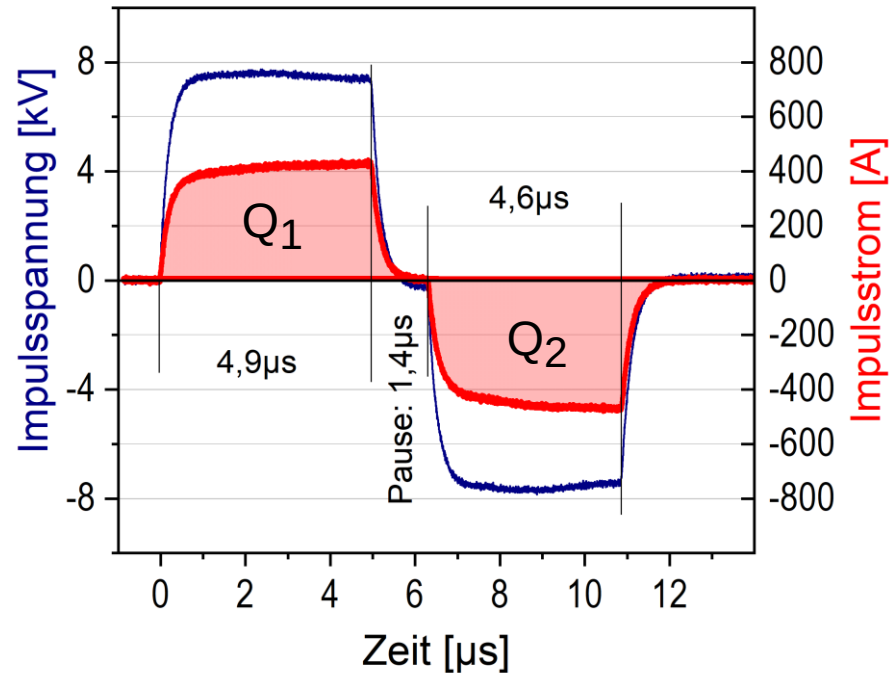
Lackabscheidung mit unipolaren Impulsen



Labormuster Behandlungszelle

- Lackabscheidung auf den Elektroden der Behandlungszelle bei Anwendung von unipolaren Impulsen (2 μ s und länger).
- Auftreten von Lackbenetzungsstörungen bei Beschichtungsversuchen mit behandeltem Lack

Anwendung bipolarer Impulse ermöglicht abscheidungsfreien EIB-Betrieb



- Kathode 1HW

+ Anode 1HW

Regelbedingung: Ladungsneutraler Betrieb

$$Q_1 = Q_2 ; \quad Q = \left| \int i(t) \cdot dt \right|$$

- Bipolare Impulse mit einstellbarer Halbwellendauer können nur mit Halbleiter-Generatoren erzeugt werden.
- Anmeldung eines Schutzrechts ist erfolgt

Versuchsbetrieb mit 8kV-Generatorprototyp

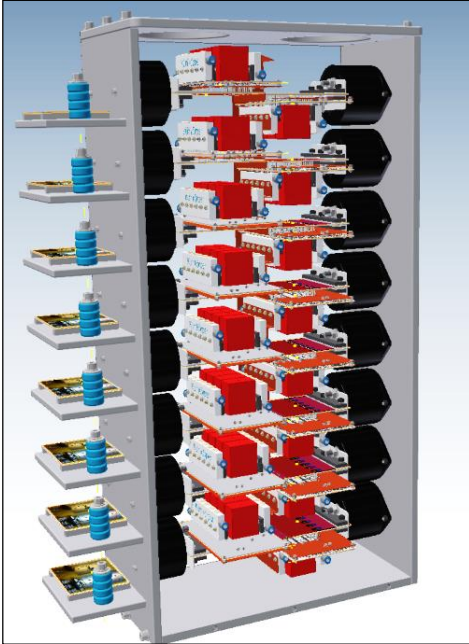


Gesamtansicht des Versuchsaufbaus

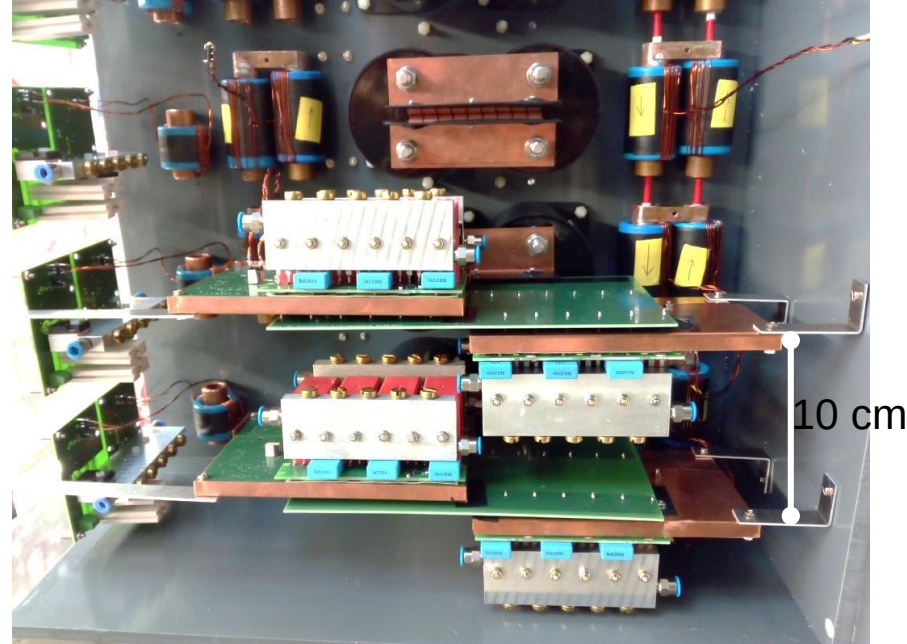


Generator und Behandlungszelle

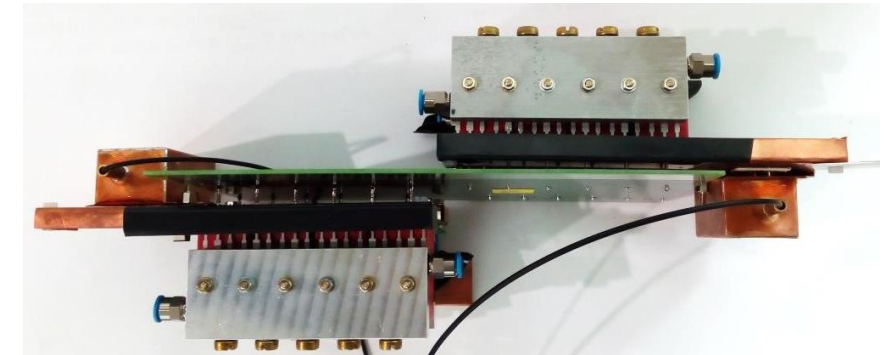
1 kV Generatormodule, Generatöraufbau



8kV-Generator
als Testmodell für den
30kV-Demogenerator



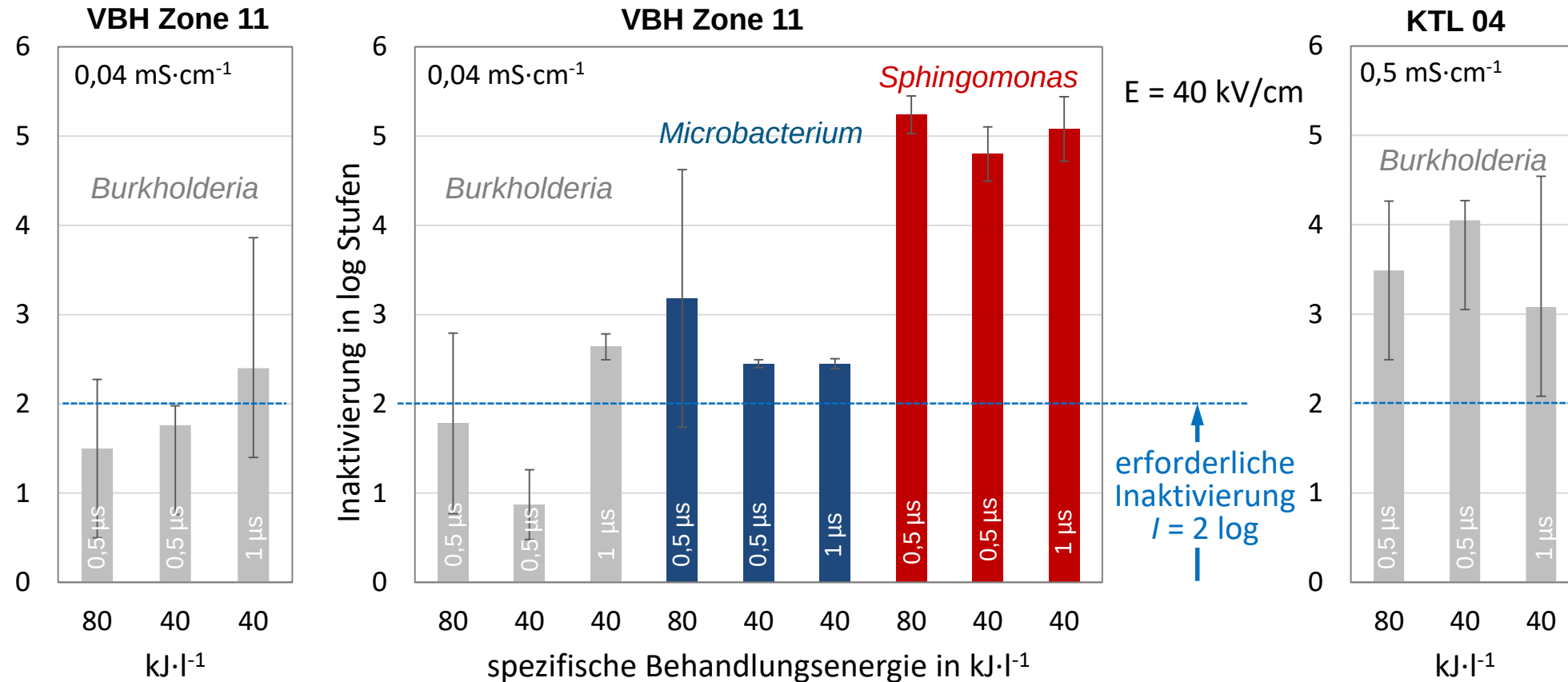
Serienschaltung von
Vollbrückenmodulen im Laborgenerator



1kV Vollbrückenmodul mit optischer Ansteuerung

Weltweit erster Kurzpuls-Halbleitergenerator, der eine Impulsanstiegszeit von $T_A < 100$ ns bei hohem Laststrom $I = 0,6$ kA; Leistung: 40 kW; realisieren kann.

Erzielte bakterielle Inaktivierungsraten, bipolare Impulse



- Bedarf an spezifischer Behandlungsenergie ist 40 kJ·l⁻¹ / 11 kWh·m⁻³
- Kurze Impulse (0,5 μs) bei niedrigen Leitfähigkeiten (0,04 mS·cm⁻¹) verringern die Effizienz der EIB

DiWaL – Aufbau der 30 kV Demo-Anlage



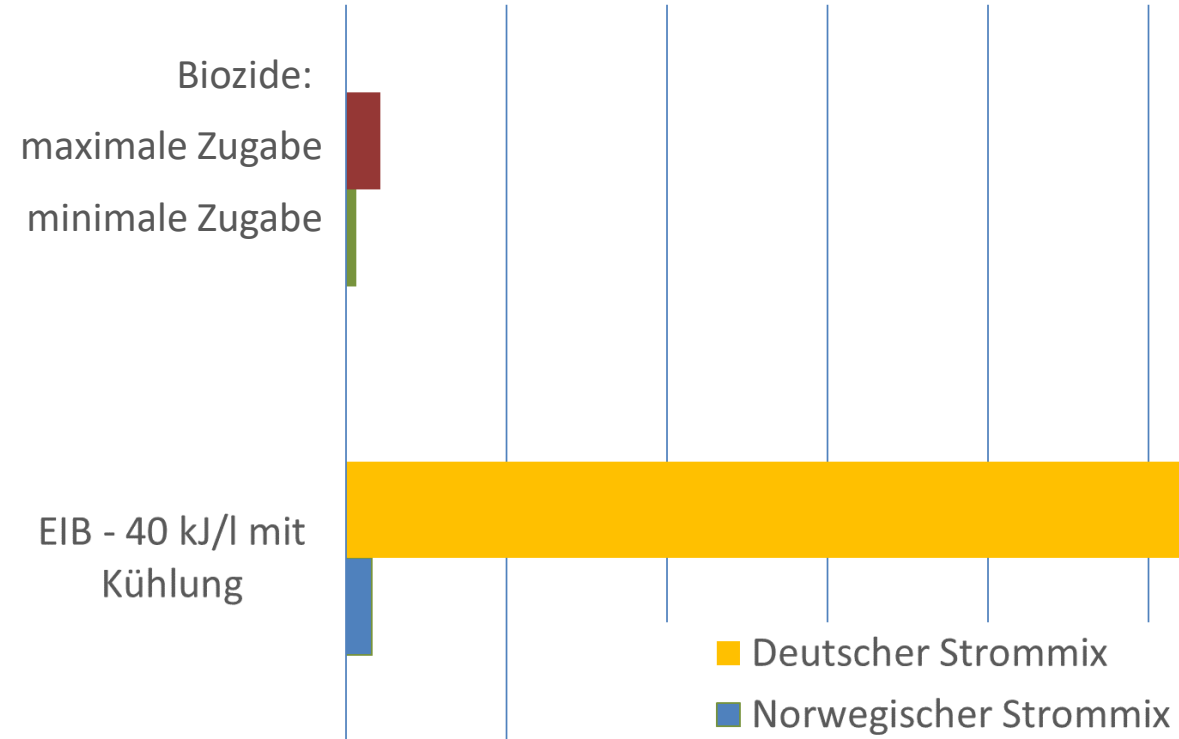
DiWaL – Betrieb der Demo-Anlage an einer Beckenkaskade



Betriebsbereite Beckenkaskade im Technikum bei Eisenmann

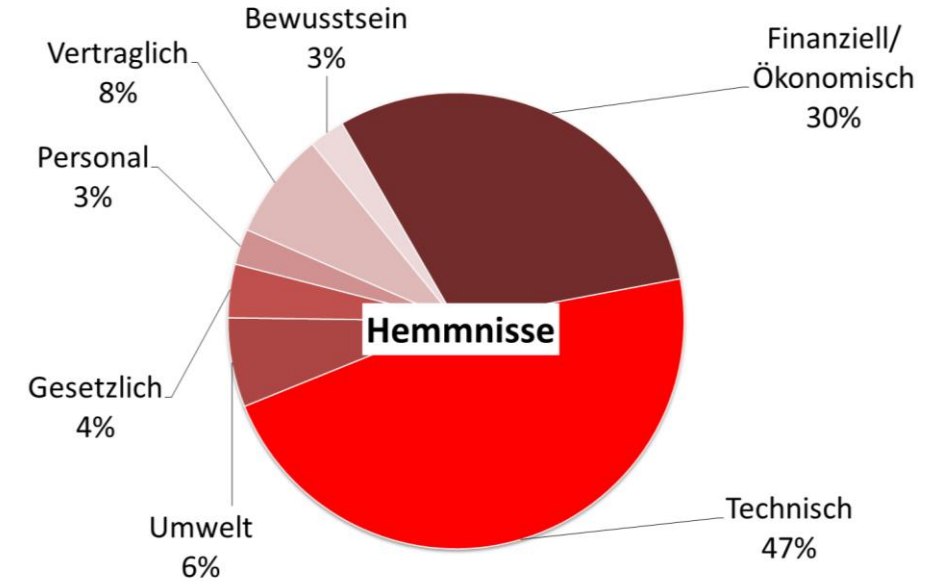
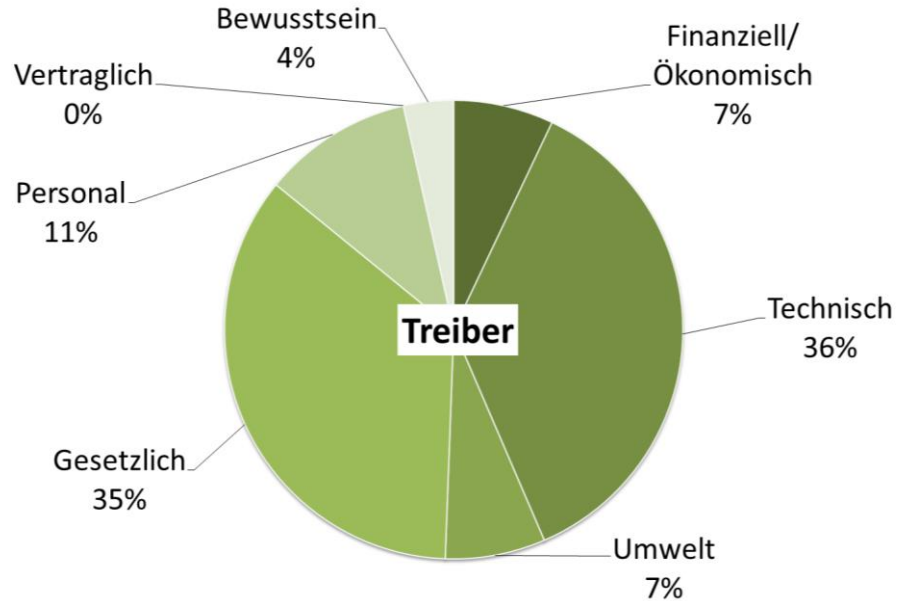
EISENMANN

Nachhaltigkeit: THG Emissionen [kg CO₂-Äq pro Karosserie]



- Nachhaltigkeit der EIB-Technologie hängt maßgeblich von der Nachhaltigkeit der Stromerzeugung ab

Stakeholder-Analyse: Ergebnisse des Workshops 1Q/2019



- als **Treiber** überwiegen erwartete Änderungen der Biozid-Verordnung und die „technische Eleganz“ der EIB
- als **Hemmnisse** überwiegt die Skepsis bezüglich der technischen Umsetzbarkeit und der Betriebskosten
- Umweltaspekte spielen eine untergeordnete Rolle

DiWaL – Potentiale und Verwertung der Projektergebnisse



- **Wasserwiederverwendung kann deutlich gesteigert werden:**
 - **Beckenverwurf** wurde drastisch um 83% **gesenkt**.
 - **Biozideinsatz** deutlich um 80% **reduziert**.
- Konzepte zur **Identifikation von Kontaminationsquellen** (Critical Control Points) zur Steigerung der Anlagenhygiene wurden erstellt.
- Zentrale Bedeutung besitzt die Integration eines **biologischen Monitorings** in ein **Anlagenmanagement**.
- **Erfahrungsbasis zur Anlagenneuauslegung** geschaffen.
- Die **Elektroimpulsbehandlung** zur Abtötung von Bakterien wurde verfahrenstechnisch **erfolgreich auf ETL angepasst**.
- **weltweites Potential KTL:** Einsparung von $0,5 \times 270 \text{ Liter/KFZ} \cdot 83.632.010 \text{ KFZ/a} = 11,3 \text{ Mio m}^3/\text{a}$
- **Potential ATL-Segment:** installiertes Beckenvolumen, Deutschland: 1.200 m^3 ; 5% Verwurf/d; Potential: $18.000 \text{ m}^3/\text{a}$