
Simulation für die Praxis: Effiziente Gestaltung für Beschichtungen

Forum O&S, 1.6.2016, Stuttgart
Peter Schwanzer, Klaus Schmid



 **GALVANO**
technik

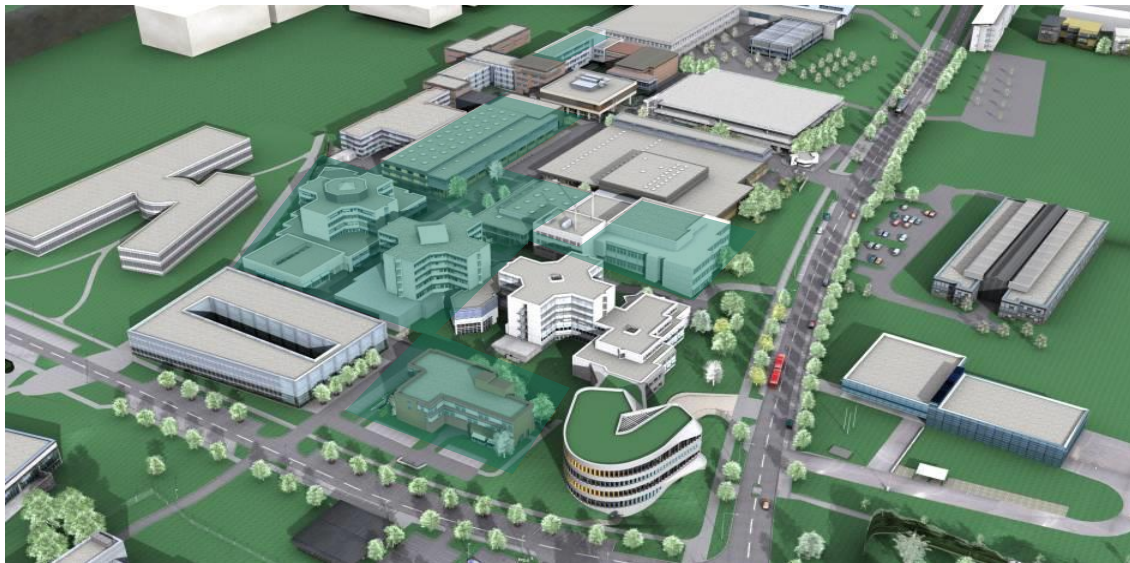
 **Fraunhofer**
IPA

- mehr als 20 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- 1,8 Mrd. Budget
- 60 Institute

Institutszentrum Stuttgart IZS

Fraunhofer IPA als Teil des Forschungscampus der FhG

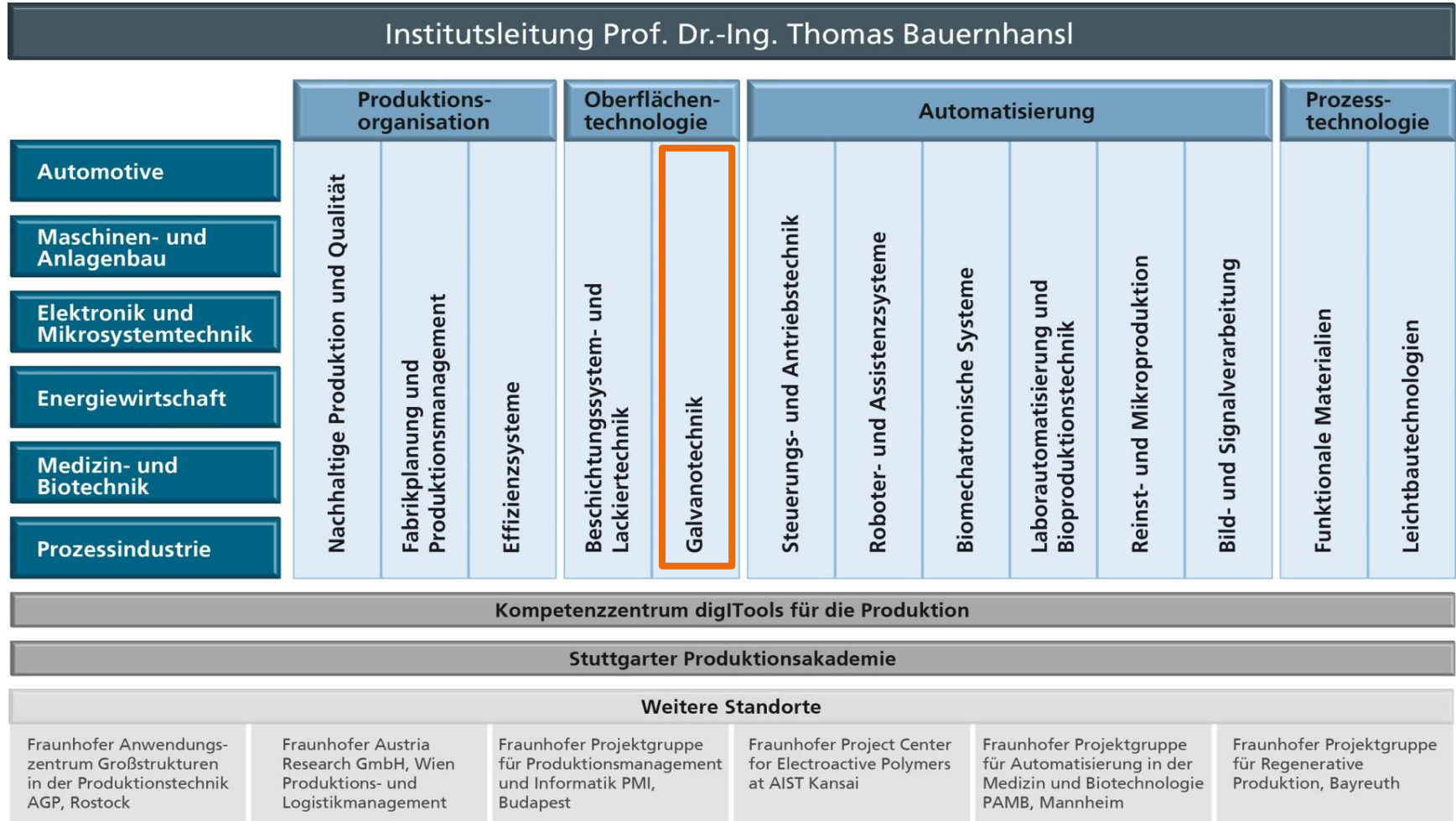
- Drittgrößtes Institut der Fraunhofer-Gesellschaft
- 500 Mitarbeiter | 64,2 Mio. Euro Betriebshaushalt | 20,4 Mio. Euro Wirtschaftserträge
- Kompetenz in Produktionstechnik und Automatisierung seit 1959



Fraunhofer IPA

Hinweis: Zahlen beziehen sich auf das Gesamtjahr 2015

Organisation Fraunhofer IPA

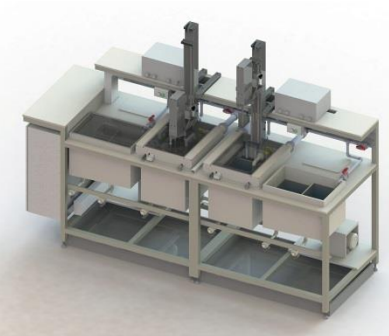


Stand: 01.2016

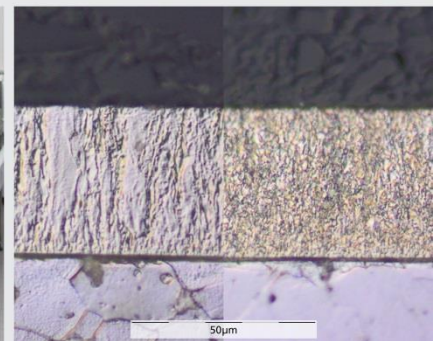
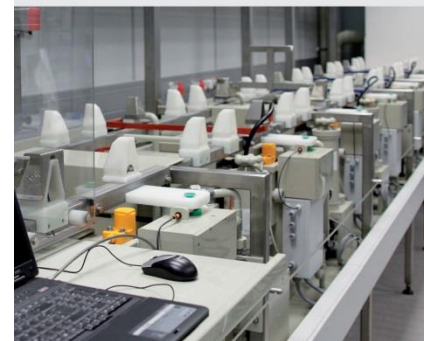
Galvanotechnik am Fraunhofer IPA

Abteilungsvorstellung

- Ursprünge in den 70ern
- 22 Mitarbeiter
 - Werkstoffwissenschaften
 - Chemie
 - Ingenieurwesen
- 1,6 Mio. € Budget
- 87% durch Projekte finanziert
 - 51% aus öffentlich geförderten Projekten
 - 36% durch Industrieprojekte
- 600 m² Technikum



MACHINERY AND EQUIPMENT INDUSTRY
AUTOMOTIVE
AEROSPACE ENGINEERING



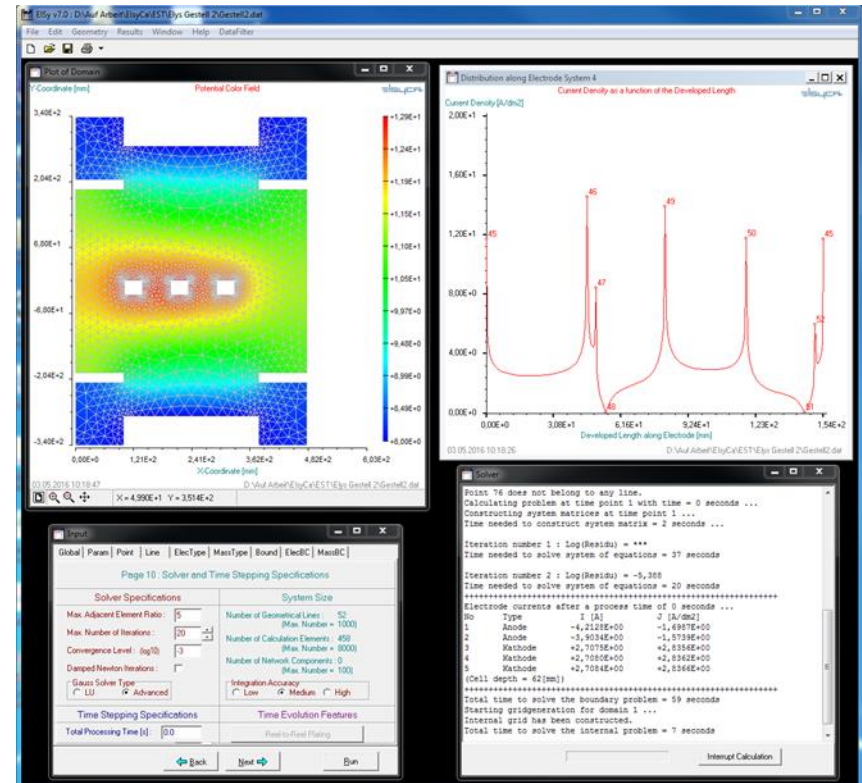
Simulation für die Galvanotechnik

Verwendung am IPA

- FEM-Software
 - Elsy2D (Fa. Elsyca)
- seit 1997
- 2 bis 4 Projekte / Jahr

Anwendung

- Primäre Stromdichteverteilung
- Optimierung Schichtdickenverteilung



Stromdichte

Begriffe & Definitionen

- Primäre Stromdichteverteilung
 - Aus Elektrostatik (Ohm'sches Gesetz) resultierenden Verteilung
 - Geometrie von Anoden, Kathoden und Reaktionsraum
- Sekundäre Stromdichte
 - Berücksichtigung von Durchtrittsüberspannungen und Elektrodenreaktionen
- Tertiäre Stromdichte
 - Berücksichtigung von Stofftransport
Diffusionschichten → Hydrodynamische Situation relevant

Stromdichteverteilung

Zusammenhänge und Auswirkungen

- Stromdichte
 - Konzentration an Ecken und Kanten
 - Lokale Ungleichmäßigkeiten
 - Faraday-Gesetz
 - Abgeschiedenes Metall ist proportional zur Ladungsmenge
- Ungleiche Stromdichteverteilung erzeugt Schichtdickenunterschiede

 Gleichmäßige Schichtdicke wichtig für effiziente Produktion

Anwendung der Stromdichtesimulation

Fokussierung primäre Verteilung in 2D

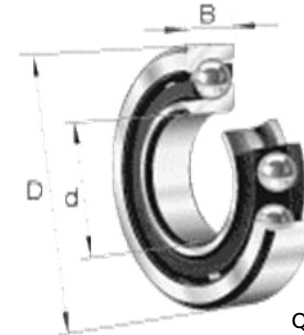
- Einschränkung auf primäre Stromdichte
 - Position Anoden & Bauteile direkt beeinflussbar
 - Optimierungen durch Blenden etc. möglich
 - Berücksichtigung mechanischer Umsetzbarkeit bereits bei Simulation
- Vorteile 2D-Berechnung
 - Vereinfachung notwendig, Schnitte
 - Aufarbeitung der wichtigsten Zusammenhänge
 - Geringer Berechnungsaufwand
 - Wenige Sekunden bis Ergebnis, Rechnung vieler Varianten

 **Aufwand / Nutzen optimal**

Anwendungsbeispiel 1: Wälzlagererring

Aufgabenstellung

- Aufgabe
 - Schrägkugellager
 - Korrosionsschutz (Meerwasser)
- Anforderungen
 - Endmaßgenau (25 μm)
 - Passungen auf Wellen- / Gehäusedurchmesser:
Zielschichtdicke $\pm 5 \mu\text{m}$
 - Enge Formtoleranz Lauffläche
Zielschichtdicke $\pm 2 \mu\text{m}$
 - Keine Nacharbeit
 - Korrosive Belastung
 - Vollflächige ohne Fehlstellen



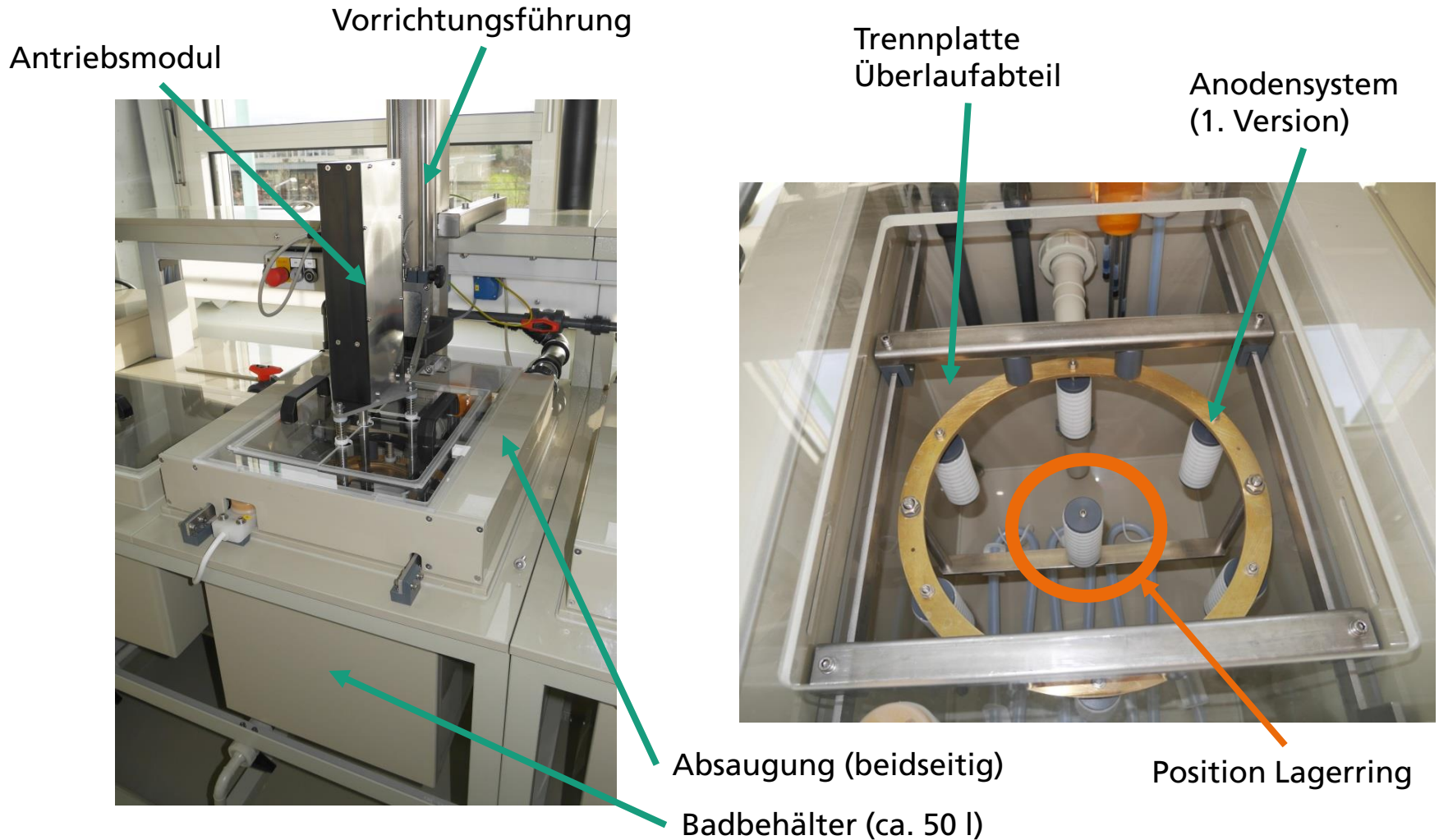
Quelle: Schaeffler (Internet)



Nickel-Wolfram-beschichtete Ringe:
Außenring (links) und Innenring (rechts)

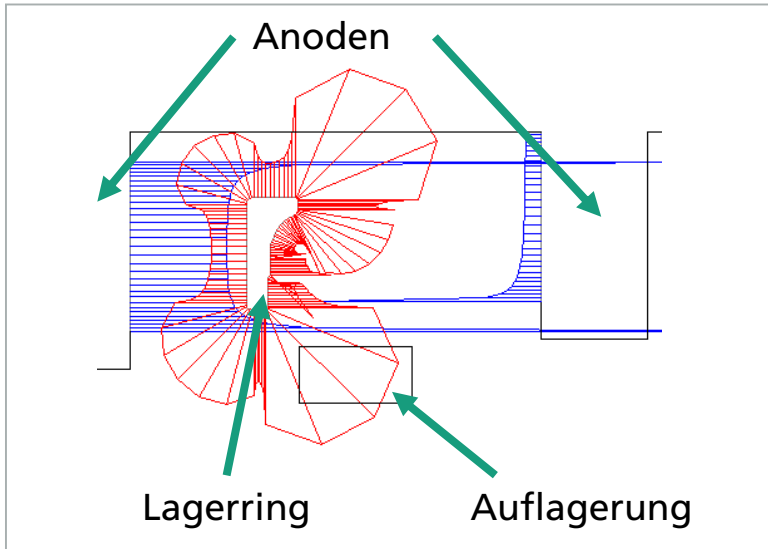
Anwendungsbeispiel 1: Wälzlagererring

Beschichtungssituation - Technikumsanlage

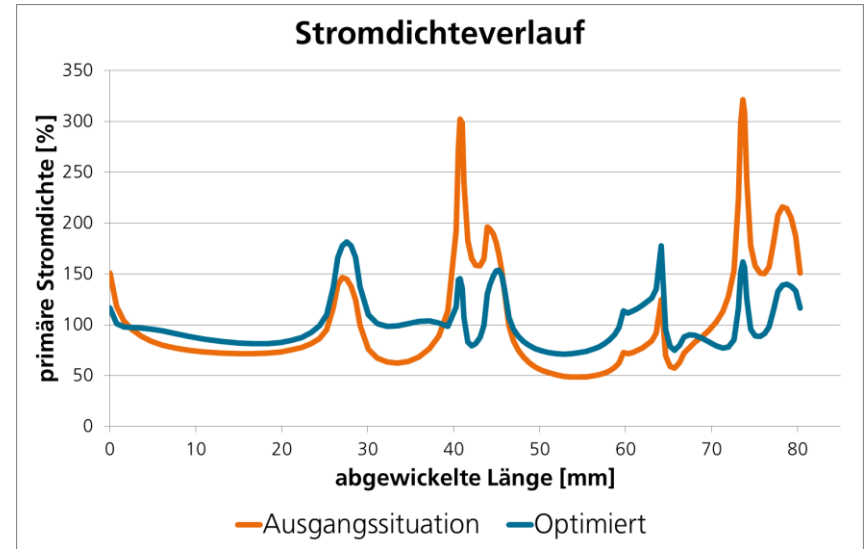


Anwendungsbeispiel 1: Wälzlagering

Simulation (Beispiel Innenring)



Querschnitt Simulationsmodell



Vergleich primäre Stromdichteverteilung

- Rotationssymmetrischer Aufbau
- Stromdichte normiert auf 100%
- Modellierung Querschnitt

Anwendungsbeispiel 1: Wälzlagererring

Ergebnisse (Beispiel Innenring)

Ausgangslage: Gut

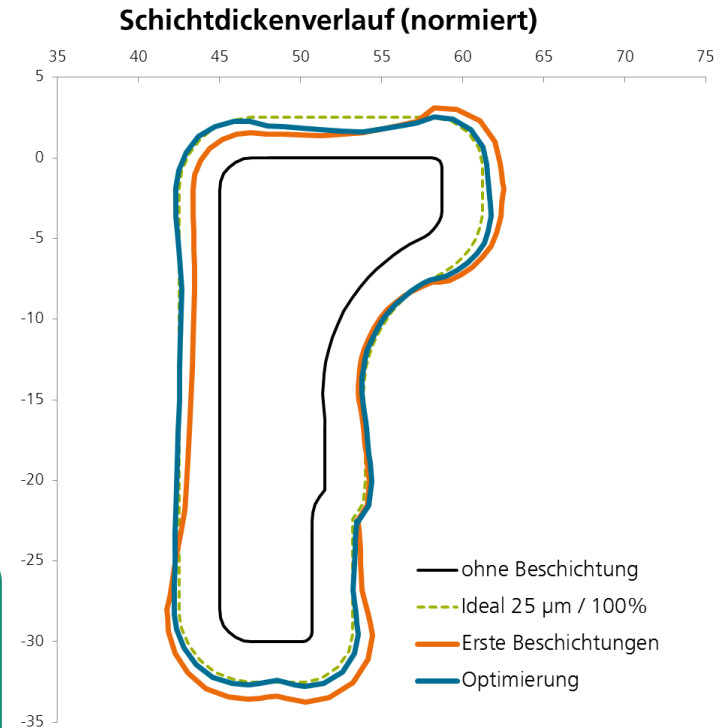
- Gute Streufähigkeit
- Anlage für Lagerringe konstruiert

Optimierung

- Blenden
- Anoden
- Eintauchtiefe

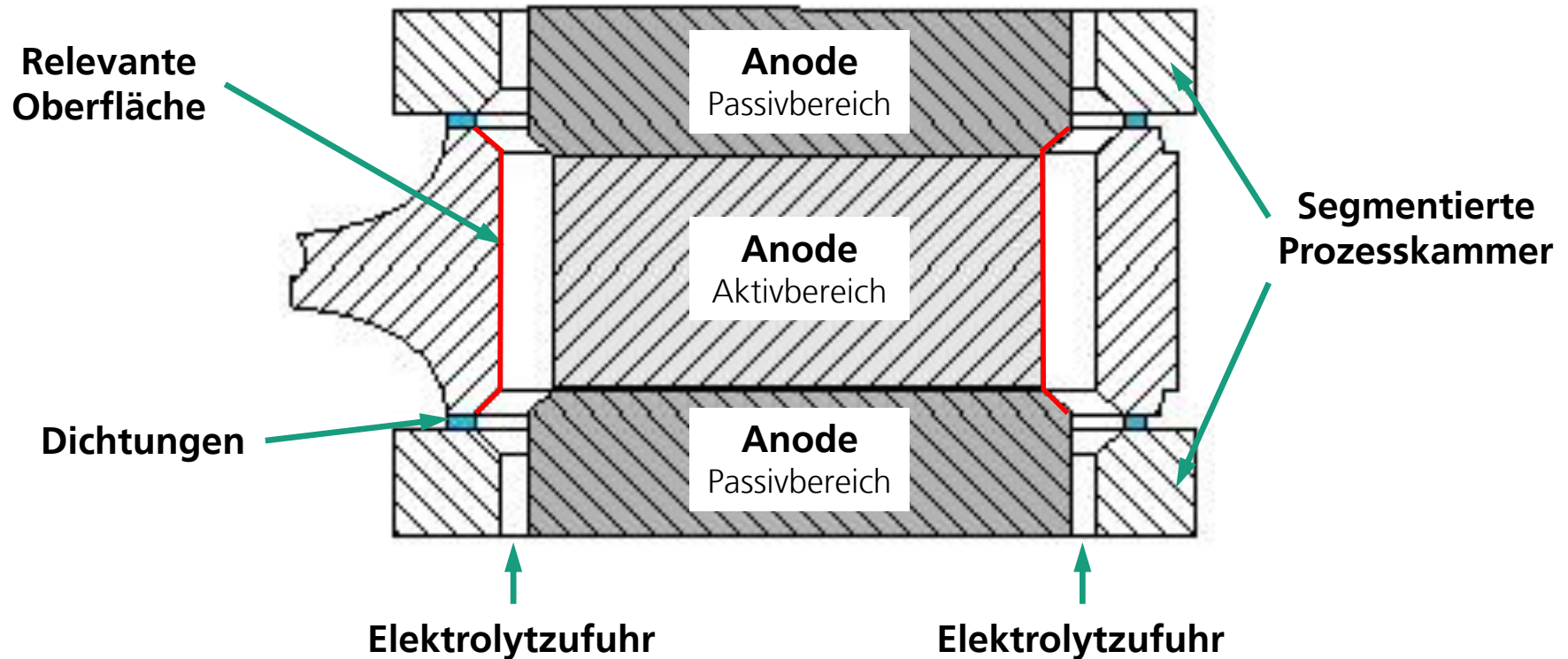
Erreichung Zielwerte

- Messwerte Lauffläche $\pm 1,5 \mu\text{m}$
- Werte Innendurchmesser $\pm 3 \mu\text{m}$
- Gleiche Schichtdicke Lauffläche & Innendurchmesser



Anwendungsbeispiel 2: Innenbeschichtung

Aufgabe: Prototyp und Machbarkeitsprüfung



Anwendungsbeispiel 2: Innenbeschichtung

Umsetzung

**Versuchsanlage
(inkl. Gleichrichter, Bäder etc.)**



Prototyp Beschichtungsvorrichtung



Anwendungsbeispiel 2: Innenbeschichtung

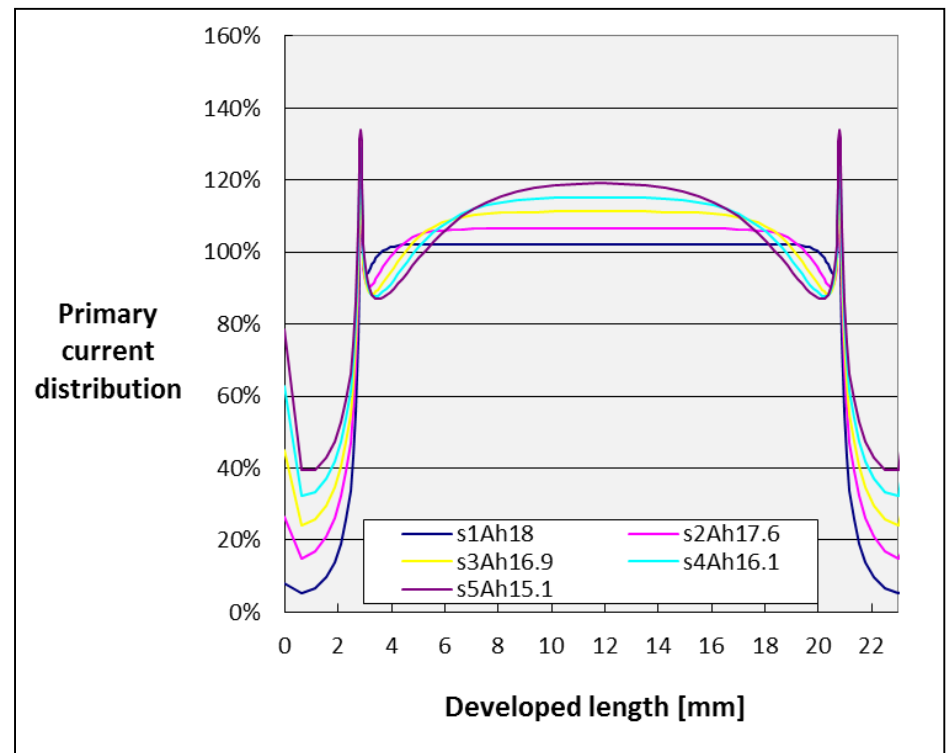
Optimierungsziel

Hauptziel

- Konvexer Schichtverlauf
- Kein signifikanter Kanteneffekt

Weitere Ziele

- Hohe Abscheiderate
- Gleichmäßige Schichtdicken
- Homogene Legierungszusammensetzung (Kupferlegierungsschicht)



Anwendungsbeispiel 2: Innenbeschichtung

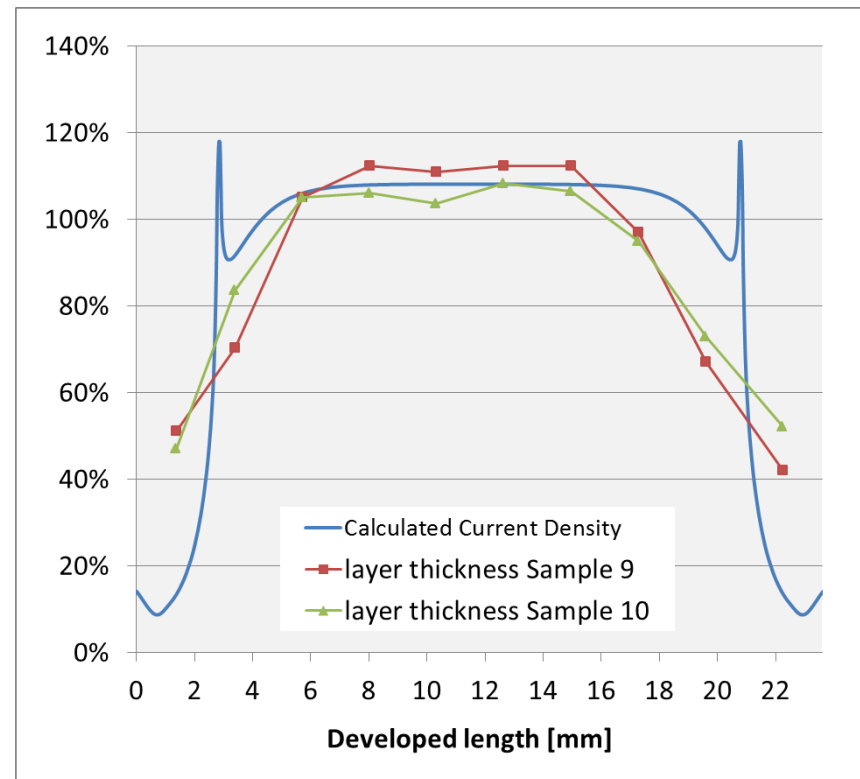
Ergebnisse

Was wurde erreicht?

- Konvexer Schichtverlauf
- Toleranzen gerade noch i. O.
- Abscheiderate bis 20 $\mu\text{m}/\text{min}$

Ungünstige Effekte

- Asymmetrischer Schichtverlauf
- Unterschiede in der Legierungszusammensetzung
- Tertiäre Stromdichtverteilung mit wichtigem Einfluss



Anwendungsbeispiel 3: Gestellbeschichtung (Nickel)

Aufgaben

Bauteile

- Stahl mit Cu-Ni-Schicht

Probleme

- Korrosion auf der Rückseite
- Dünnere Schicht auf der Rückseite
- Hohe Schwankungen

Lösungsansatz

- Überarbeitung und Vereinheitlichung der Gestelle



(Teile vertraulich)

Anwendungsbeispiel 3: Gestellbeschichtung (Nickel)

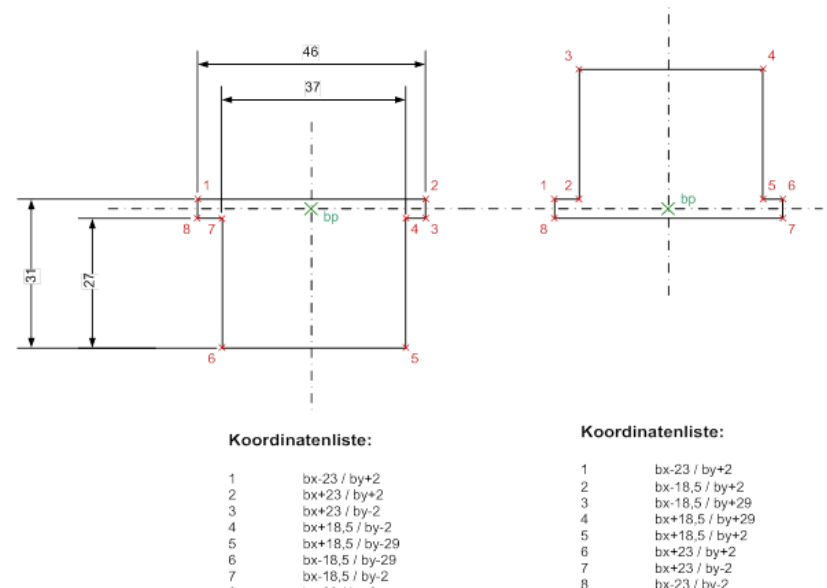
Geometrieerstellung

Vereinfachung

- ...ist NICHT einfach
- ...ist notwendig für gute Ergebnisse

Fragestellungen

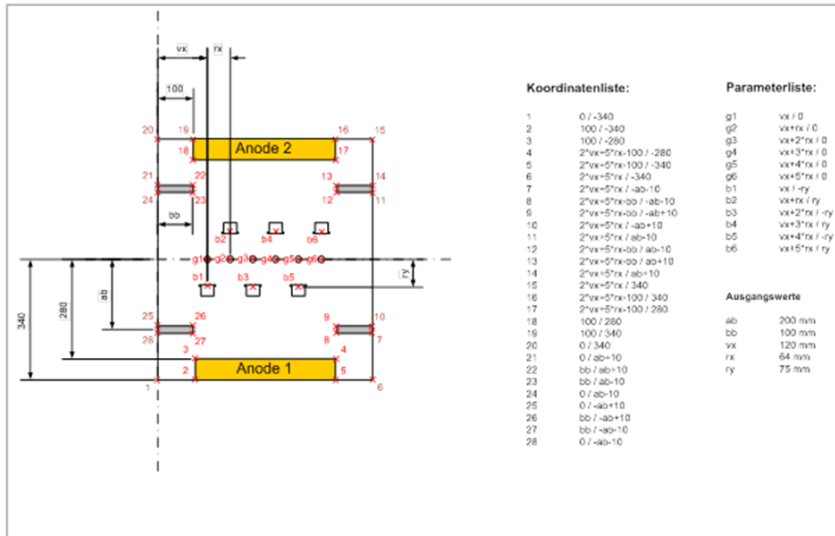
- Welches sind relevante Oberflächen?
- Welche Bereiche sind unwichtig?
- Wo liegen die Grenzen der Berechnung?
- Welche Ergebnisse sind zu erwarten?



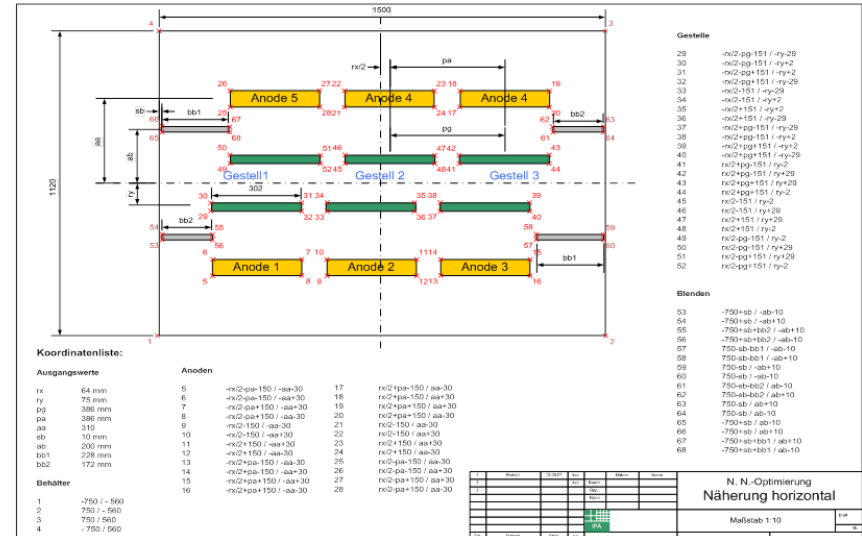
Anwendungsbeispiel 3: Gestellbeschichtung (Nickel)

Abbildung des Bads

Bereich eines Gestells für Detailbetrachtung



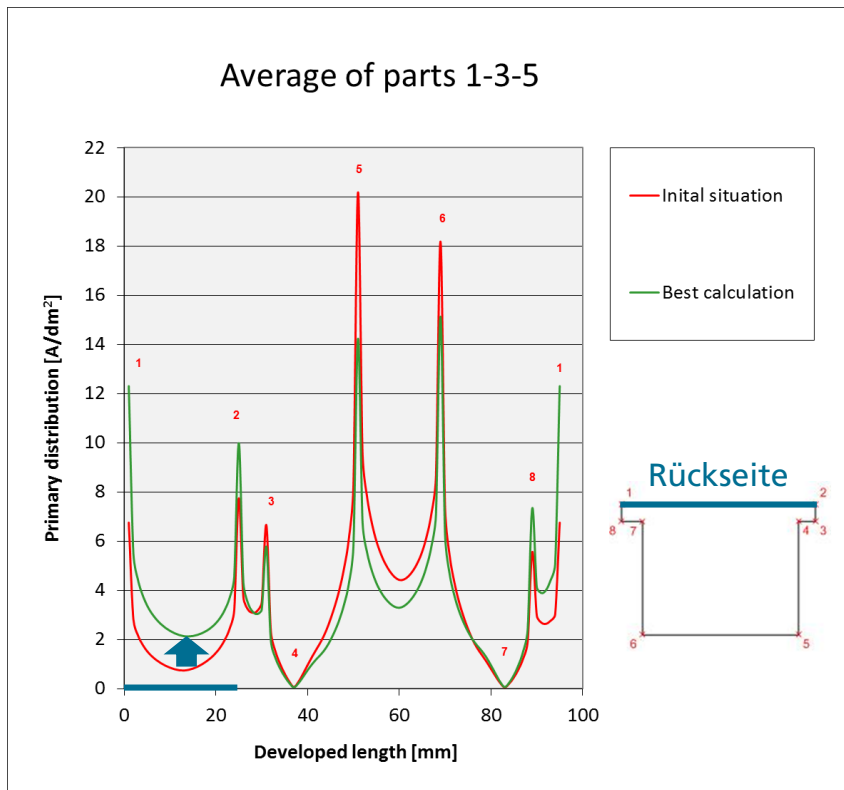
Gesamtes Bad mit 3 Gestellen in 2 Richtungen



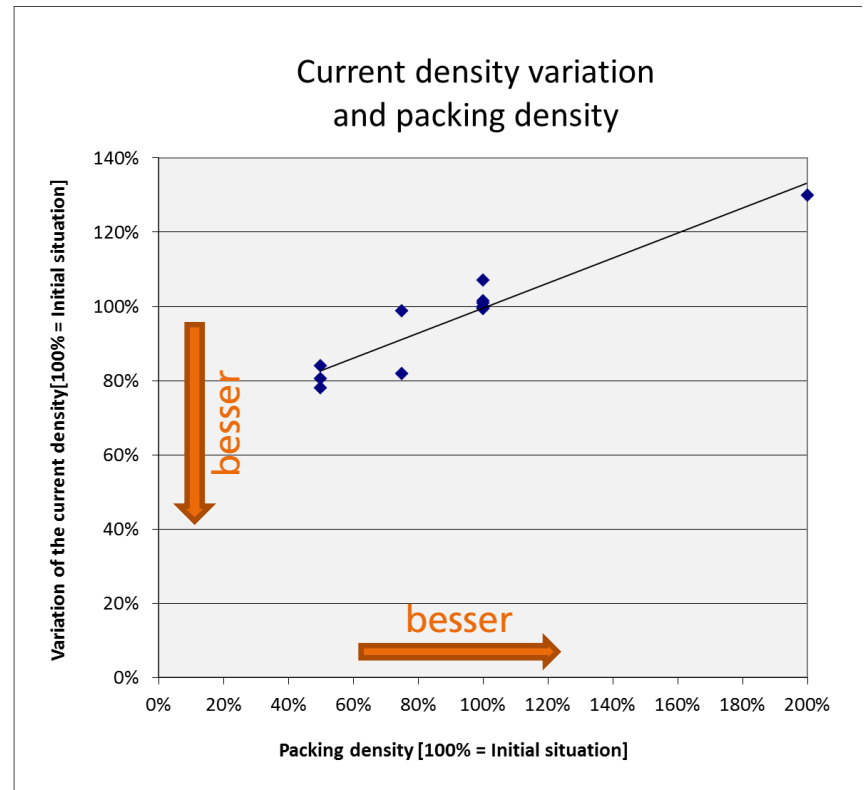
Anwendungsbeispiel 3: Gestellbeschichtung (Nickel)

Ergebnisse

Technische Sicht

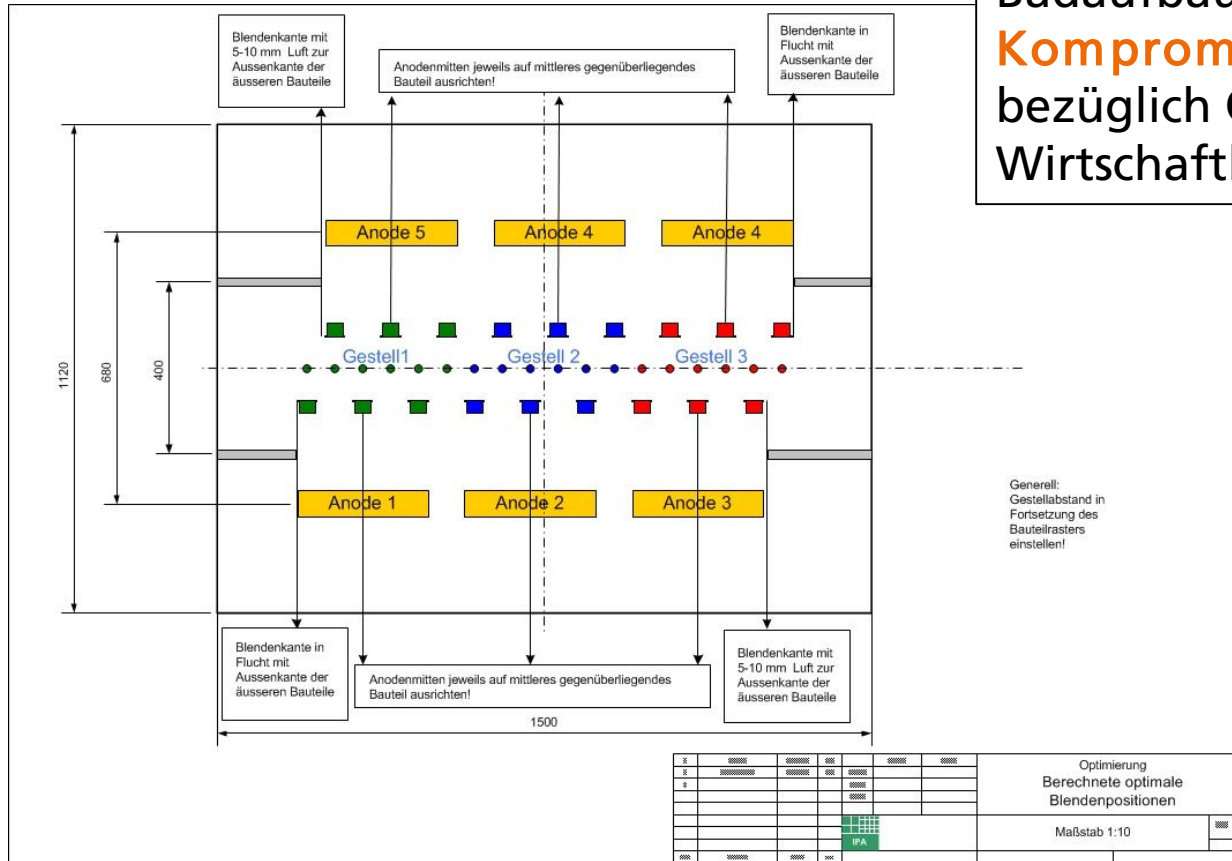


Wirtschaftliche Aspekte



Nutzen für den Anwender

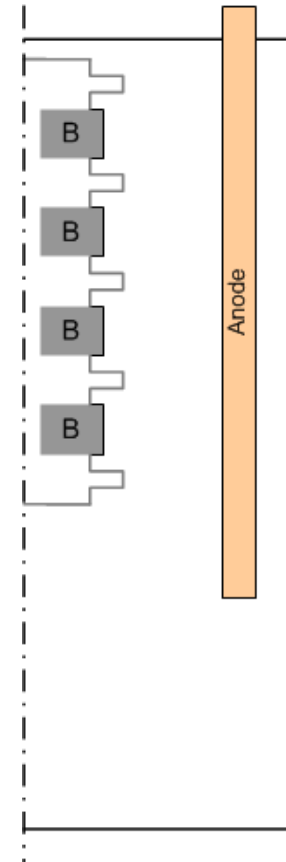
Badaufbau für besten **Kompromiss** bezüglich Qualität / Wirtschaftlichkeit



Anwendungsbeispiel 4: Mehrfachbeschichtung

Ausgangssituation

- Mehrere Bauteile übereinander
- Blenden
- Schicht auf einer Seite
- Hohe Schichtdicken
 - Zwischen Bauteilen unterschiedlich
- Höhere Kapazität benötigt
 - Bestehende Anlagen und Vorrichtungen
 - Erweiterung Fertigung standortbedingt nicht möglich

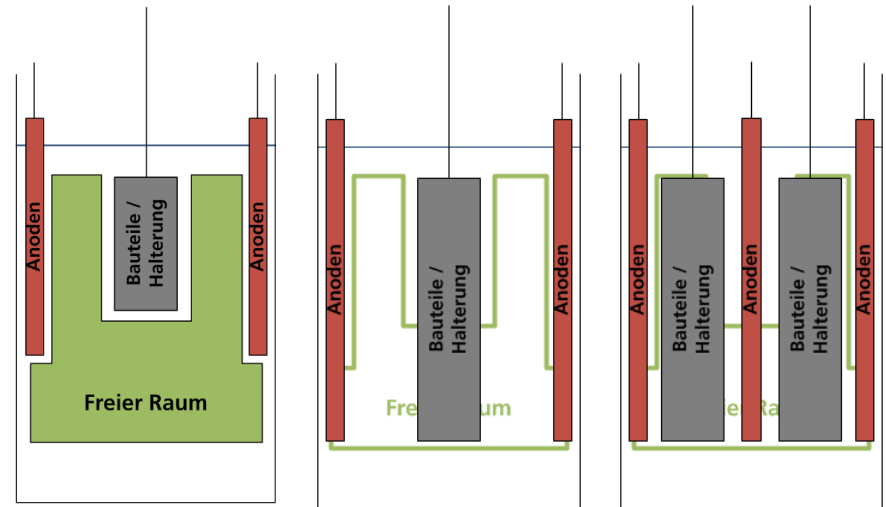


► **Qualität und Kapazität in bestehenden Anlagen steigern**

Anwendungsbeispiel 4: Mehrfachbeschichtung

Potenzialanalyse

- Bessere Schichtverteilung
 - Geringere Beschichtungsdauer
 - Höhere Stromdichten?
- Bauteilanzahl ändern
 - Auswirkungen Schichtverteilung?



► Machbarkeit Vorrichtungen?



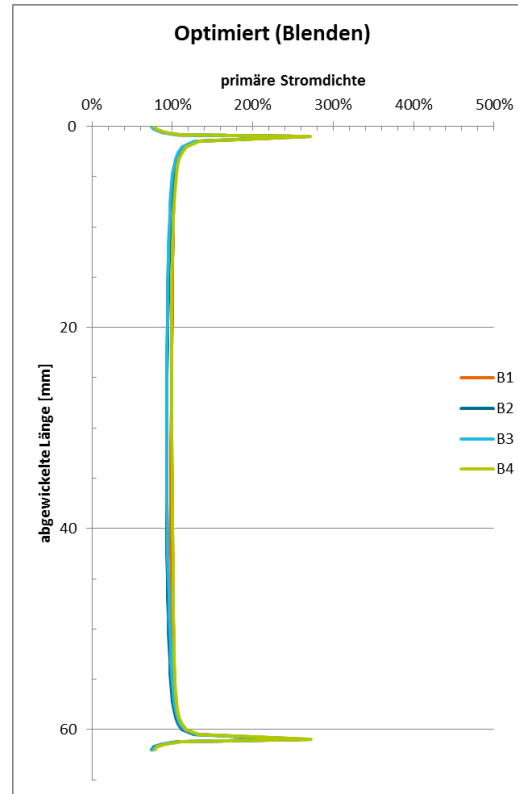
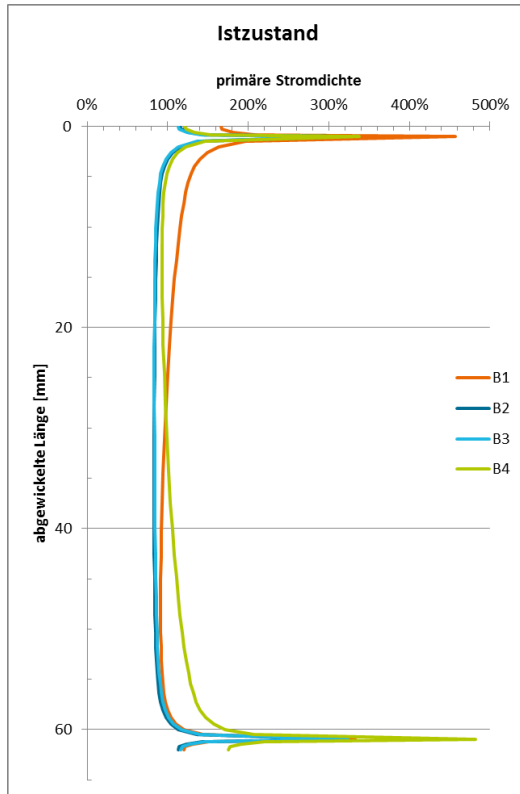
Wechselwirkungen

► Machbarkeit bezüglich Schichtverteilung?

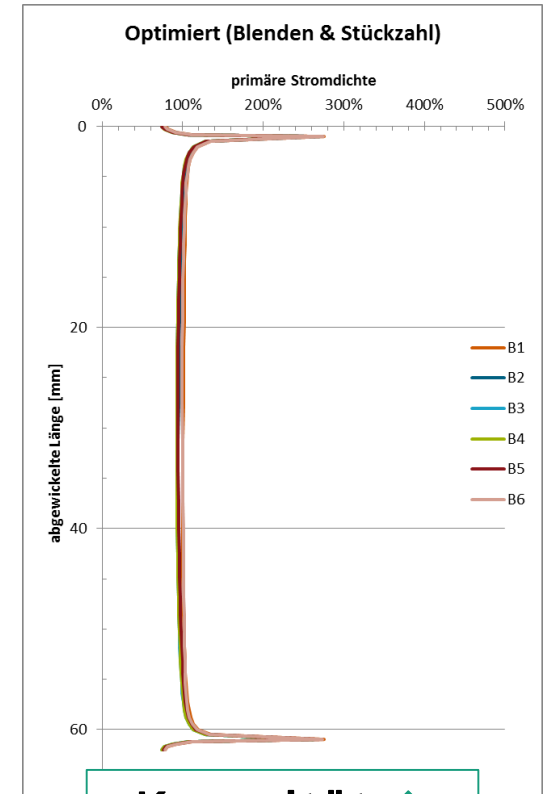
→ Simulation zur Abschätzung und Optimierung

Anwendungsbeispiel 4: Mehrfachbeschichtung

Simulationsrechnungen



Qualität ↑



Kapazität ↑
Qualität ↑

Anwendungsbeispiel 4: Mehrfachbeschichtung

Ergebnisse

- Auslegung von Vorrichtung und Blenden
→ Gleichmäßigere Stromdichteverteilung über alle Bauteile erreichbar
- Gleichbleibende Stromdichteverteilung bei mehr Bauteilen umsetzbar
- Berücksichtigung der mechanischen Aspekte während Simulation
→ praktische Umsetzbarkeit gegeben
→ mechanisches Konzept mit erarbeitet

 **Potenziale in bestehenden Anlagen werden nutzbar**

Zusammenfassung & Fazit

Simulation als effektives Werkzeug einsetzbar

- Aufwand / Nutzen für primäre Stromdichteverteilung am besten
 - Verringerung von Praxistests
 - Kosteneinsparungen, effizientere Beschichtungen
 - Neue Lösungsansätze
- Aber: Grenzen vorhanden
 - nur modellierte Aspekte werden berücksichtigt
- Praxisbezug essenziell
 - Optimierungen müssen umsetzbar sein
→ Realisierungskonzept Hand-in-Hand mit Simulation erstellen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Noch Fragen?

Ansprechpartner



Dipl.-Ing. Peter Schwanzer
+49 (0)711 / 970 – 1209
peter.schwanzer@ipa.fraunhofer.de



Gruppenleiter
Dipl.-Ing. (FH) Klaus Schmid
+49 (0)711 / 970 – 1760
klaus.schmid@ipa.fraunhofer.de



Besuchen sie uns:
Halle 9,
Stand B28, 07

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Abteilung Galvanotechnik

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

<http://www.ipa.fraunhofer.de/galvanotechnik.html>