

## HZwo:FRAME VP1.5

# Innovative Kühlsysteme für Brennstoffzellen

**01.07.2019 bis 30.06.2022**

**Förderung und Projektträger:**  
EFRE-Technologieförderung,  
SAB Sächsische Aufbaubank



Europa fördert Sachsen.  
**EFRE**  
Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch  
Steuermittel auf Grundlage des von den  
Abgeordneten des Sächsischen Landtags  
beschlossenen Haushaltes.



1. Konsortium
2. Projektziele
3. Entwicklung Bipolarplatten
4. Thermische Charakterisierung
5. Forschungsfunktionsmuster
6. Zusammenfassung und Ausblick

1. **Konsortium**
2. Projektziele
3. Entwicklung Bipolarplatten
4. Thermische Charakterisierung
5. Forschungsfunktionsmuster
6. Zusammenfassung und Ausblick

# 1. Konsortium – Struktur

## Wärmetauscher Sachsen GmbH

- Firmensitze: Olbernhau, Leipzig
- Wärmerückgewinnung, Kälteerzeugung und Brennstoffzellentechnologie

## Fischer GmbH

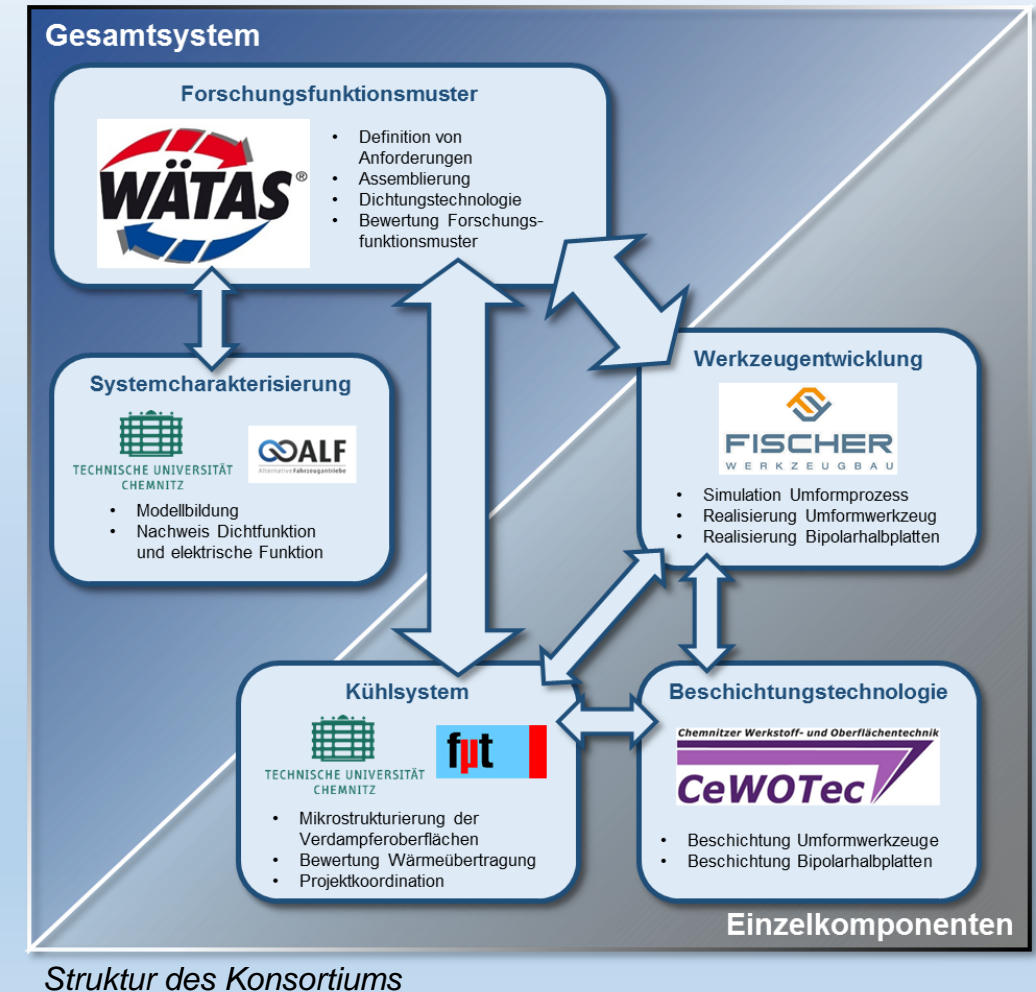
- Firmensitz: Gehringswalde
- Herstellung und Erprobung von Folgeverbund- und Kunststoffspritzgusswerkzeugen

## CeWOTec gGmbH

- Firmensitz: Chemnitz
- Tribologisch-mechanische Oberflächenveredlung (Beschichtung, Wärmebehandlung, Werkstoffprüfung)

## Technische Universität Chemnitz

- Professur Mikrofertigungstechnik
- Professur Alternative Fahrzeugantriebe

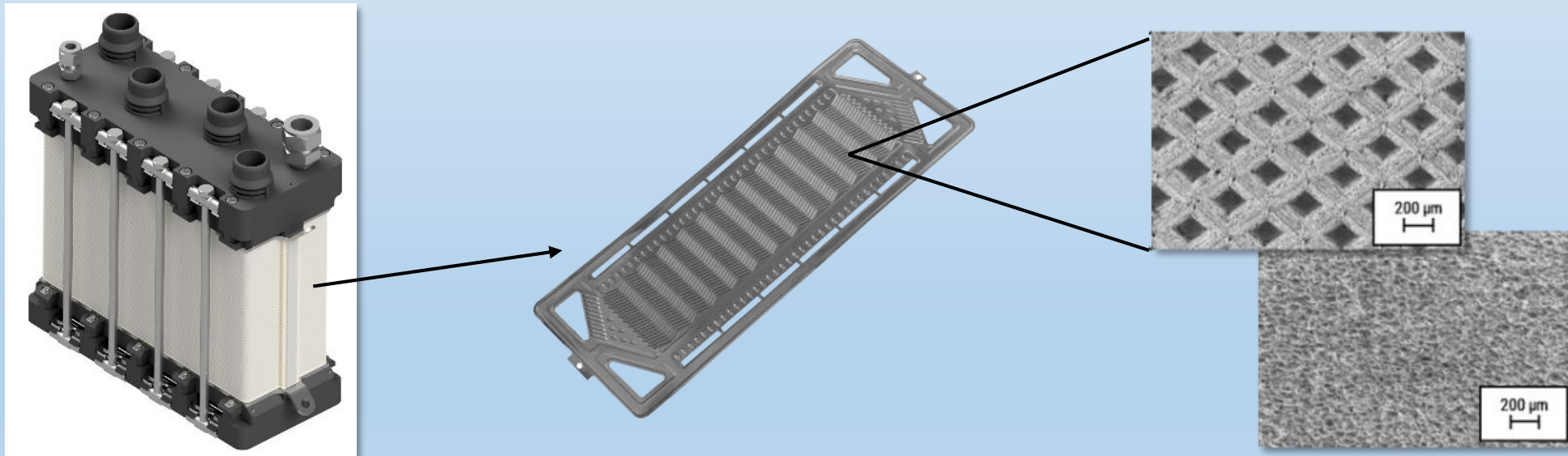


1. Konsortium
- 2. Projektziele**
3. Entwicklung Bipolarplatten
4. Thermische Charakterisierung
5. Forschungsfunktionsmuster
6. Zusammenfassung und Ausblick



## 2. Projektziele

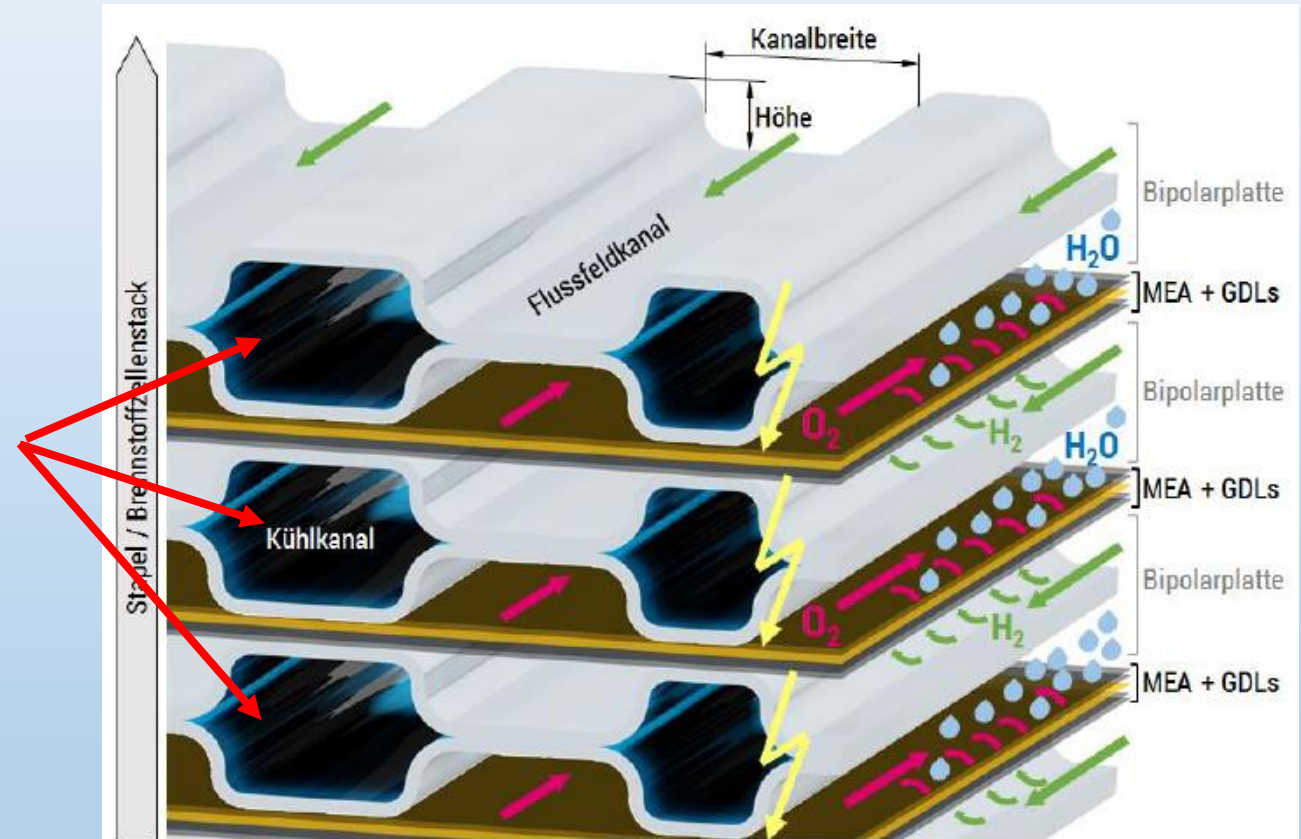
- **Erhöhung der Leistungsdichte** von Brennstoffzellenstacks durch Verringerung des Bauvolumens
- Innovative und **langzeitstabile Kühlung** von Brennstoffzellenstacks auf Basis der **Verdampfungskühlung**
- **Effiziente Wärmeabfuhr**, homogene Temperaturverteilung und damit **lange Lebensdauer** der Stacks
- Auslegungs- und Fertigungskompetenzen für die Herstellung von **Bipolarplatten mit modifizierten Oberflächen** unter Berücksichtigung **Großserien**-technischer Aspekte



*Prinzipdarstellung einer Bipolarplatte mit mikrostrukturierten Verdampfungsoberflächen in einem Brennstoffzellenstack  
(Dissertation Zinecker)*

## 2. Projektziele

- Erforschung von Werkzeugen, Technologien und Bearbeitungsstrategien für das **Umformen von Blechdicken von 100  $\mu\text{m}$**
- Beschreibung und **Modellierung der Verdampfungsvorgänge**
- Gezielte **Gestaltung anforderungsgerechter Verdampfungszonen** sowie deren Herstellung durch innovative Mikrofertigungsverfahren bzw. Oberflächenbeschichtungstechnologien
- Etablierung geeigneter Technologien für die **Dichtung und Assemblierung** der BZ-Stacks
- Aufbau **Forschungsfunktionsmuster** und thermische und elektrische Charakterisierung



Schematische Darstellung eines BZ-Stacks (Projekt HZwo:BIP)

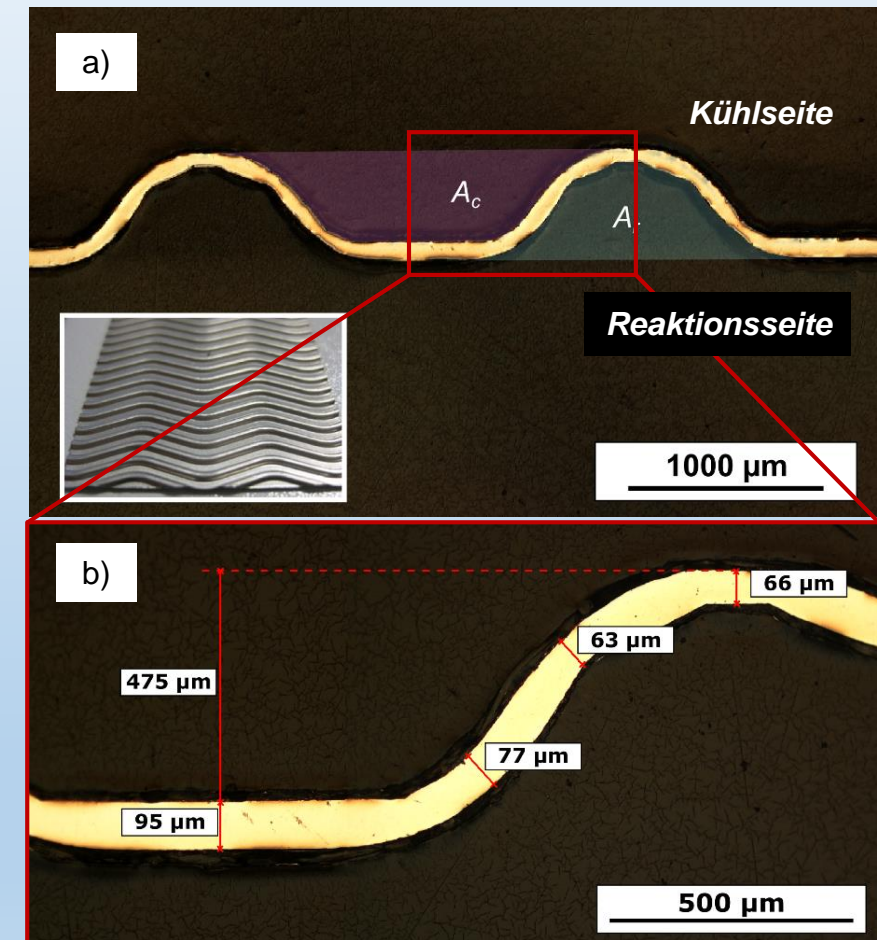
1. Konsortium
2. Projektziele
- 3. Entwicklung Bipolarplatten**
4. Thermische Charakterisierung
5. Forschungsfunktionsmuster
6. Zusammenfassung und Ausblick



### 3. Entwicklung Bipolarplatten – Flussfeldgeometrie

#### Randbedingungen

- Material: Edelstahl und Titan
- Blechdicke: 100  $\mu\text{m}$
- Erste Voruntersuchungen an Versuchswerkzeug mit Ausschnitt einer Wellenstruktur:
  - Stabiler Umformprozess und hohe Genauigkeit
  - Dickenreduktion bis zu 40 %
  - Abweichung von Zielgeometrie (Querschnitt):
    - Kühlseite ( $A_c$ ): 5 %
    - Reaktionsseite ( $A_r$ ): 11 %



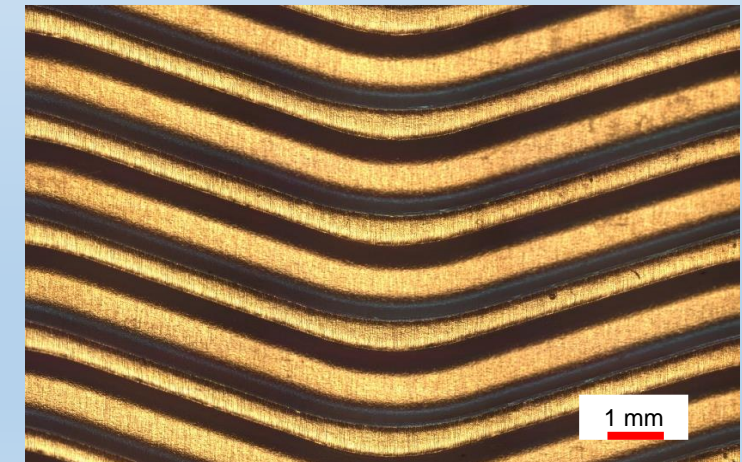
Mikroskopieaufnahme Bipolarplatte (Querschnitt) nach der Umformung: a) Grobausschnitt; b) Detailausschnitt

### 3. Entwicklung Bipolarplatten – Flussfeldgeometrie

- Bipolarplatte mit Flussfeldgeometrien für Kathoden- und Anodenseite entwickelt
- Aktive Fläche von ca. 100 cm<sup>2</sup>
- Entwicklung und Realisierung Folgeverbundwerkzeug
- Wesentlicher Schwerpunkt der Werkzeugentwicklung: Prägeeinsätze für Kathoden- und Anodenseite
- Erfolgreiche Abformung der Flussfeldgeometrie innerhalb eines Umformschritts
- Erzielte Kanaltiefen im Bereich des Flussfeldes: ca. 400 µm - 500 µm
- Erfolgreiche Integration und Inbetriebnahme des Werkzeugs in Presse für die Serienfertigung



*Realisierte Bipolarplatte (Kathodenseite)*



*Mikroskopieaufnahme der Flussfeldgeometrie nach dem Umformprozess*

### 3. Entwicklung Bipolarplatten – Dichtungstechnologie

#### Anforderungen

- Chemische Beständigkeit gegenüber Reaktionsgase und Kühlmedium
- Undurchlässigkeit gegenüber Prozessgasen wie Wasserstoff, Sauerstoff, gasförmiges Kühlmedium
- Hohe Flexibilität um Fertigungstoleranzen auszugleichen
- Elektrisch isolierend um Kurzschlüsse zu verhindern
- Temperaturbeständigkeit

#### *Relevante Anforderungen an Dichtungssystem*

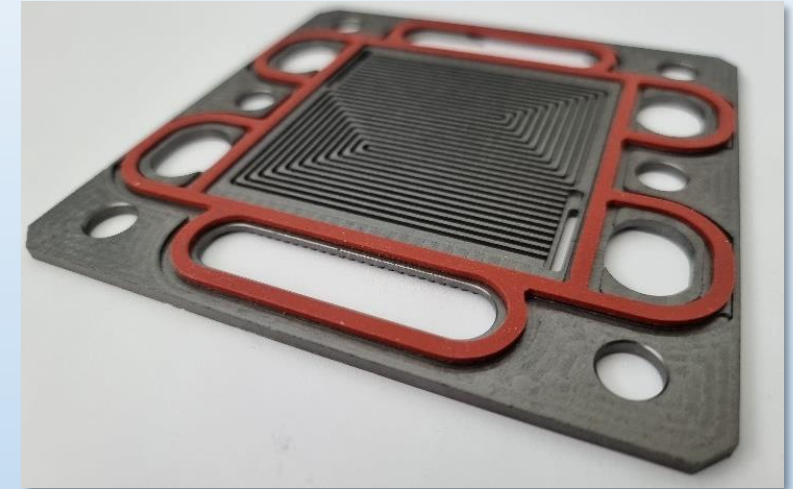
Chemische Beständigkeit	Hoch
Temperaturbereich	–40 °C bis +120 °C
Elektrische Leitfähigkeit	< 3 µS/cm (elektrisch isolierend)
Flexibilität / Steifigkeit (Härtegrad nach Shore A Härteskala)	35° bis 45°
Kompressibilität	< 5 %
Toleranz: Positionierung / Dicke	< 50 µm



## 3. Entwicklung Bipolarplatten – Dichtungstechnologie

### Flachdichtung

- Material: Silikon (Shore-Härte von 40° bis 60°)
- Fertigungstechnologie: Spritzgießen oder Ausschneiden aus Halbzeugen
- Nachteile: Schwieriges Handling bei Stacking und geringe Materialausnutzung



*Bipolarplatte mit Flachdichtung (Open Source Stack, TUC)*

### Flüssigdichtung

- Material: Ein- oder Zweikomponenten-Silikone
- Fertigungstechnologie: Dispensationsprozess
- Flüssigdichtung wird direkt auf Bipolarplatte aufgebracht
- Präzises, reproduzierbares Aufbringen erfolgt unter definierten Bedingungen (Druck, Temperatur)



*Bipolarplatte mit aufgebrachter Flüssigdichtung*

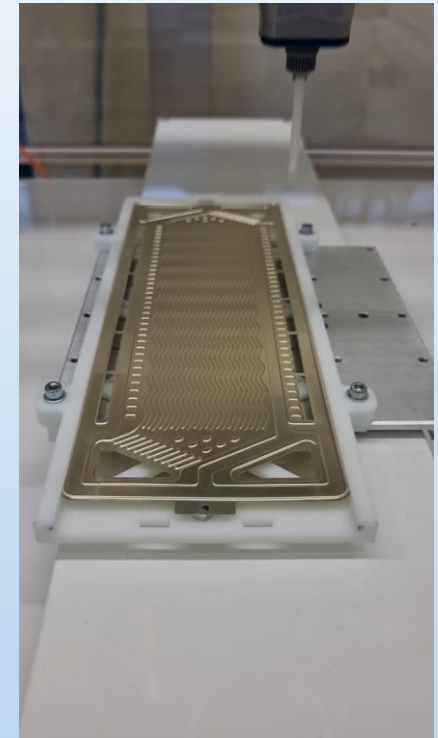
# 3. Entwicklung Bipolarplatten – Dichtungstechnologie

## Konzeption und Umsetzung

- Entwicklung Anlagentechnik für Dispensen
- Untersuchungen unterschiedlicher Dichtstoffe
- Variation der Verarbeitungsbedingungen (z. B. Viskosität, Geschwindigkeit, Dosiermenge, Verfahrensstrategie, Temperierbedingungen)

## Charakterisierung und Prüfung

- Messung des Oberflächendrucks und Ableitung der Kontaktfläche mittels Druckmessfolie
- Bestimmung der Deformation im Schnittmodell
- Leckageprüfungen zur Bewertung der Dichtheit durchgeführt
- Realisiertes Dichtungskonzept zeigt gute Dichtheitseigenschaften



*Dichtungsauftrag*



*Ergebnis einer Druckmessung*



### 3. Entwicklung Bipolarplatten – Oberflächenbeschichtung

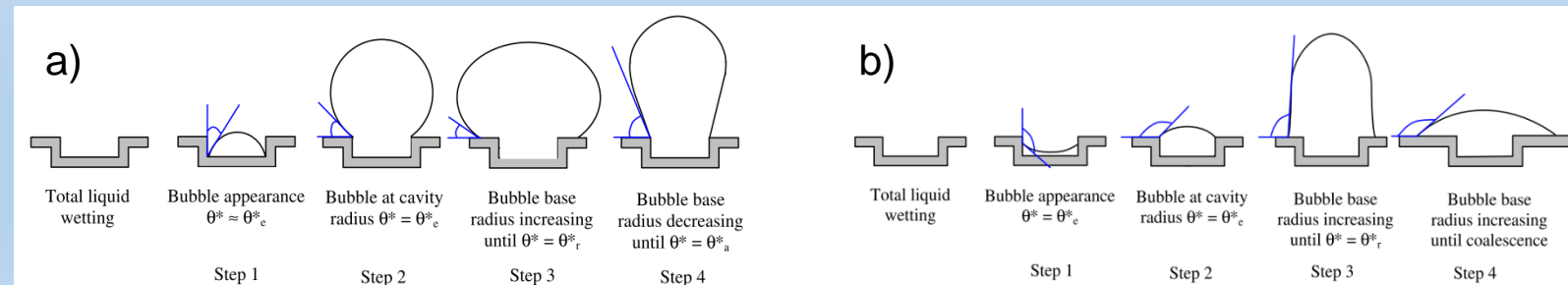
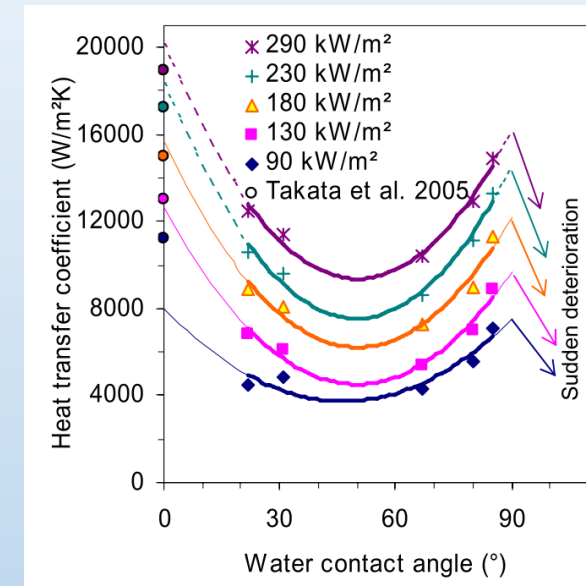
#### Anforderungen an Beschichtungen

- Hohe Korrosionsbeständigkeit und geringer Kontaktwiderstand
- Ra Rauheit < 3  $\mu\text{m}$
- Geringe Kosten
- Gute Eignung zur Blasenbildung

#### Untersuchungsgrößen und -methoden

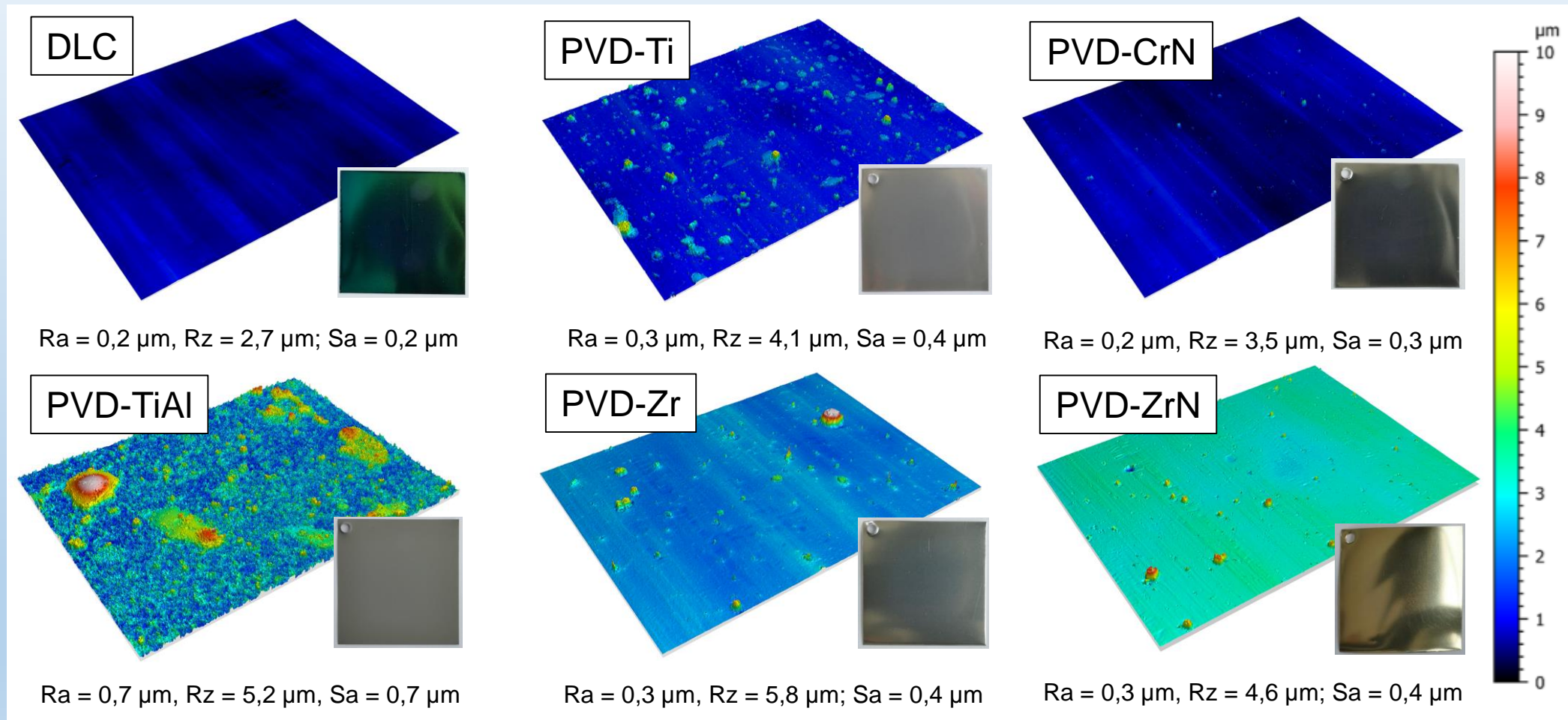
- Oberflächenenergie (Bestimmung über Kontaktwinkel)
- Korrosionsbeständigkeit (Salzsprühtest)
- Oberflächenrauheit (optisch oder taktil)

Wärmeübergangs-  
koeffizient in  
Abhängigkeit des  
Kontaktwinkels bei  
25 °C (Phan, 2009)



Blasenwachstum an: a) Hydrophiler Oberfläche; b) Hydrophober Oberfläche (Phan, 2009)

### 3. Entwicklung Bipolarplatten – Oberflächenbeschichtung



*Konfokalmikroskopieaufnahmen der Beschichtungen; Referenzwerte: Ra = 0,2 µm, Rz = 1,1 µm, Sa = 0,2 µm*

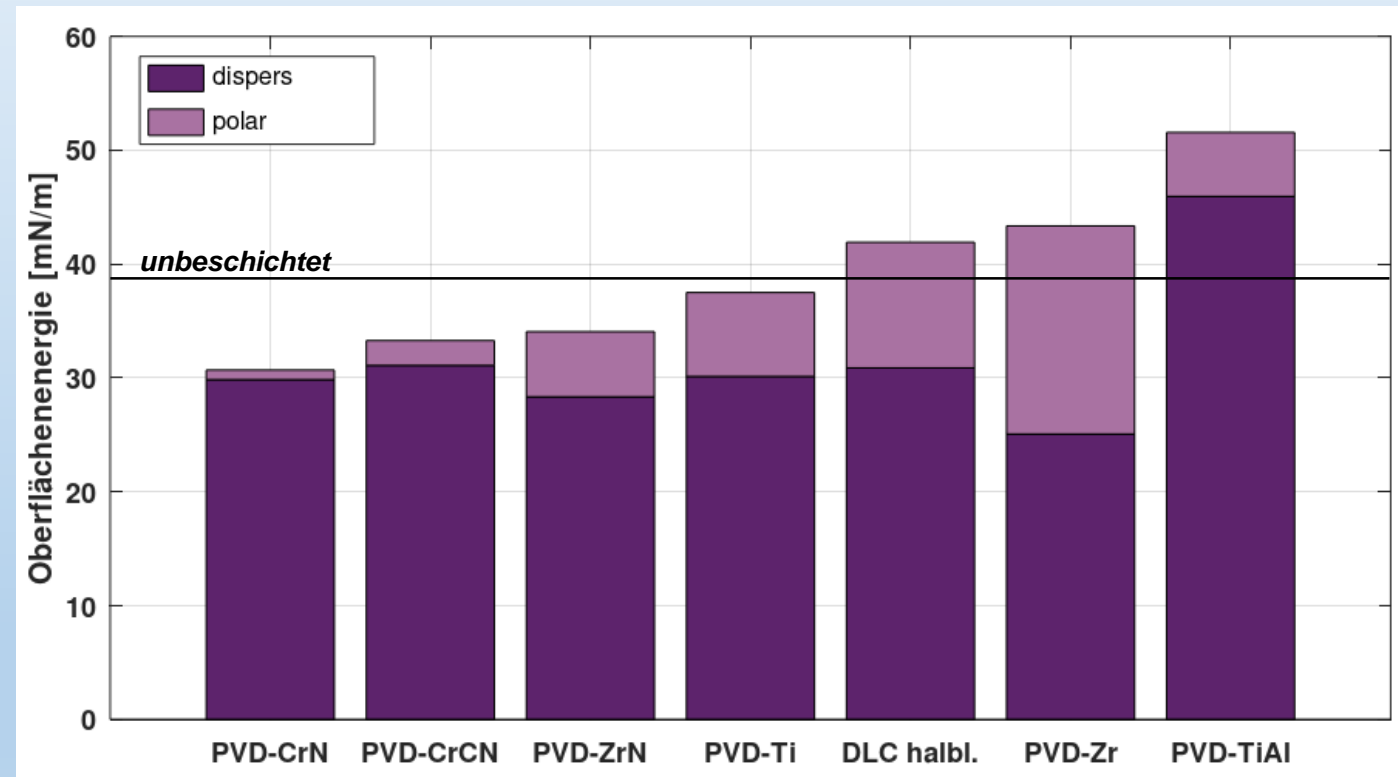
## 3. Entwicklung Bipolarplatten – Oberflächenbeschichtung

### Ergebnisse

- PVD-CrN-Beschichtung reduziert Oberflächenenergie um ca. 20 %
- PVD-TiAl-Beschichtung erhöht Oberflächenenergie um ca. 34 %
- Funktioneller Zusammenhang:  
Hohe Oberflächenenergie = verbesserte thermische Eigenschaften

### Schlussfolgerungen

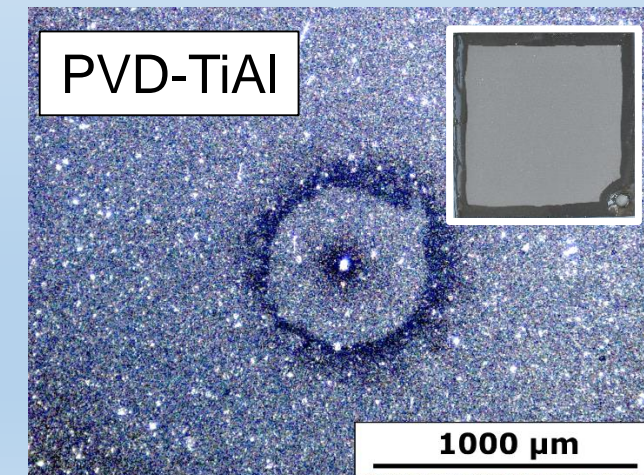
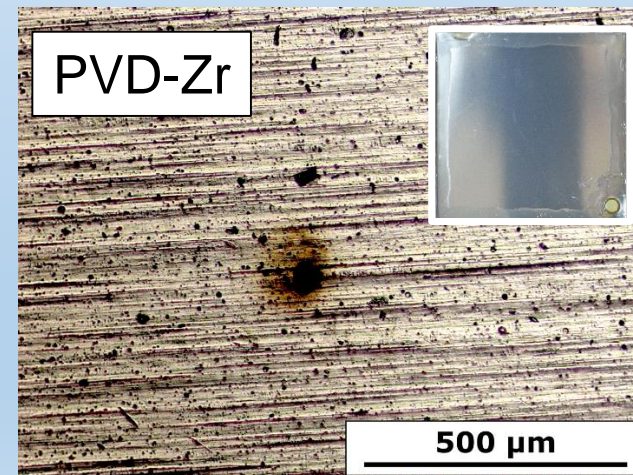
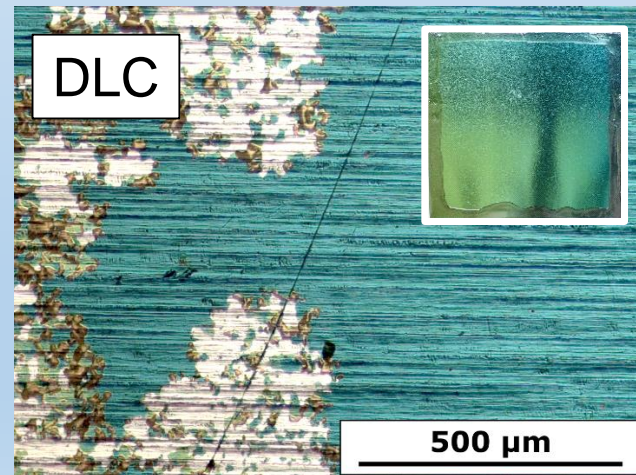
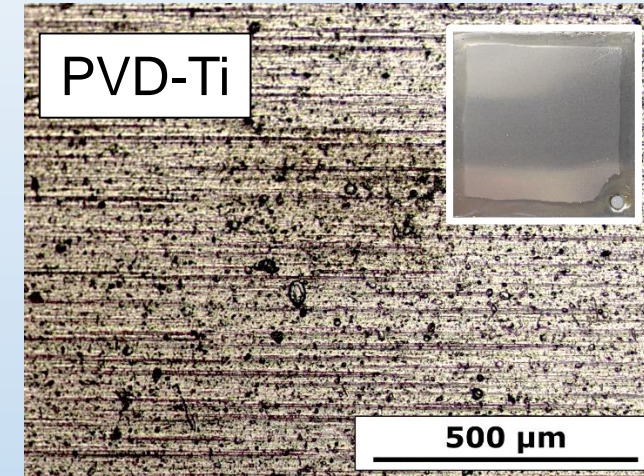
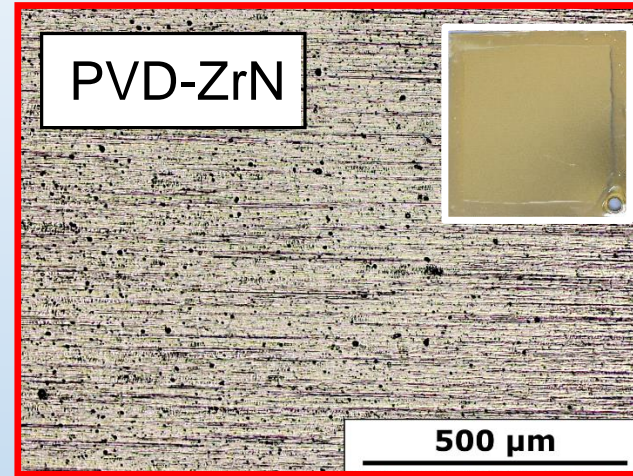
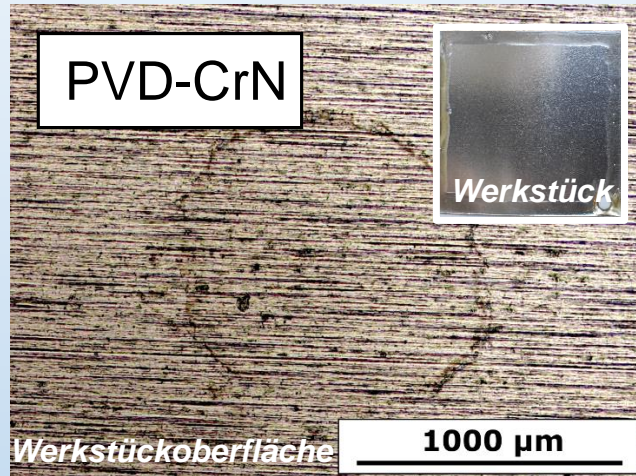
- Basierend auf Auswertungen zur Oberflächenenergie: PVD-Zr und PVD-TiAl ist zielführend



*Ermittelte Oberflächenenergie für unterschiedliche Beschichtungen (Werkstück-Werkstoff 1.4404)*



### 3. Entwicklung Bipolarplatten – Oberflächenbeschichtung



*Korrosionserscheinungen, ausgewertet nach 100 h Salzsprühnebeltest*



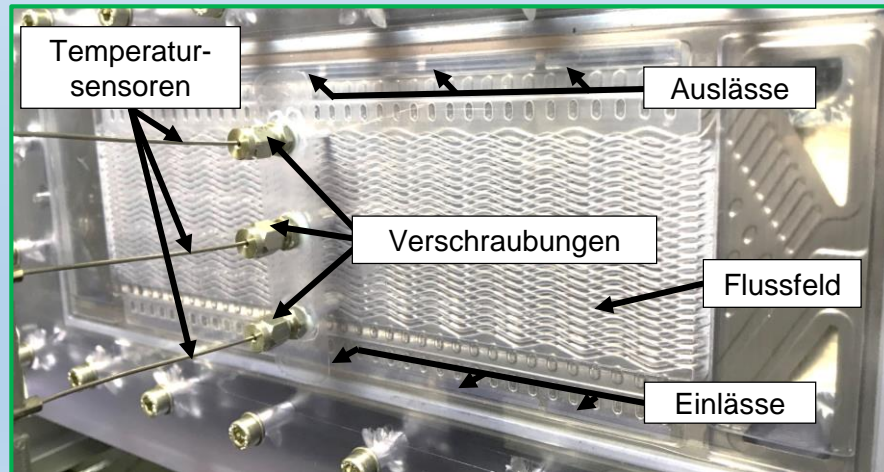
1. Konsortium
2. Zielstellung und Inhalte
3. Entwicklung Bipolarplatten
- 4. Thermische Charakterisierung**
5. Forschungsfunktionsmuster
6. Zusammenfassung und Ausblick



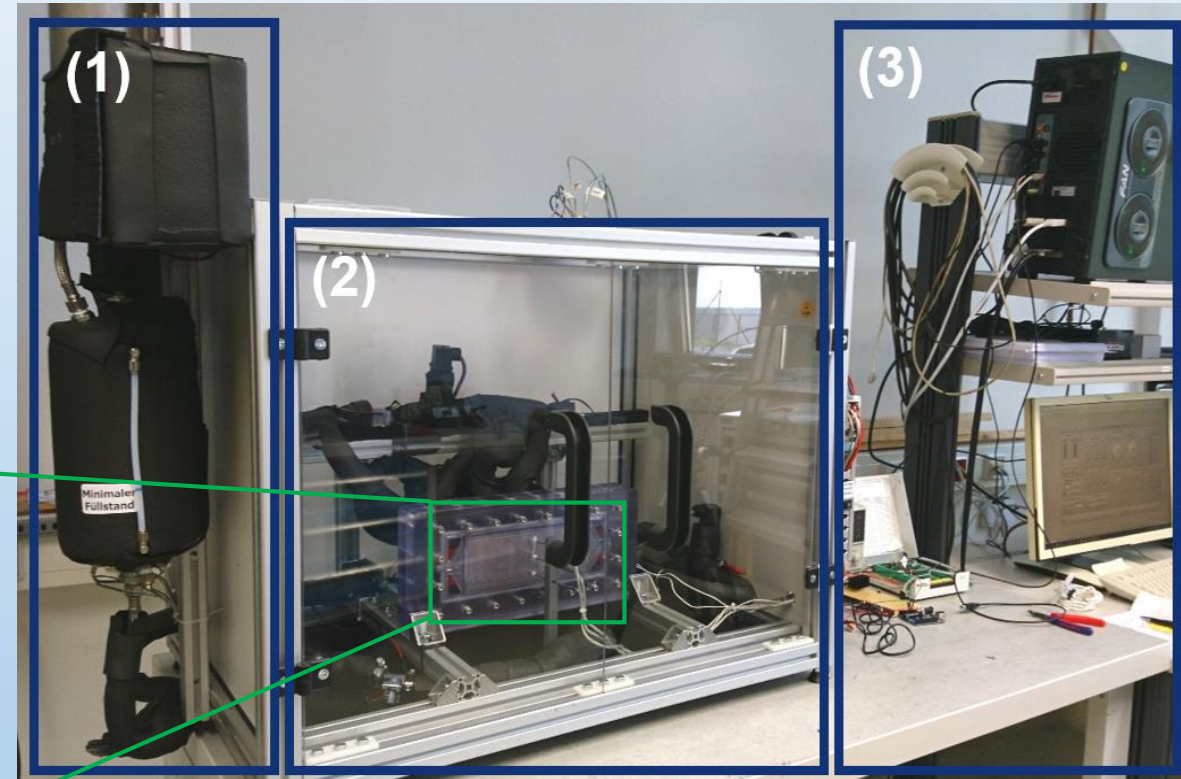
## 4. Thermische Charakterisierung

### Experimenteller Aufbau

- Spezieller Versuchsstand wurde umgesetzt
- Messdatenerfassung: Temperatur-, Druck-, Durchflussratensensoren mittels LabVIEW
- Zentrales Element: transparente Bipolarplatten-Einspannung



Transparente Bipolarplattenhalterung zur thermischen Charakterisierung der metallischen Bipolarplatten

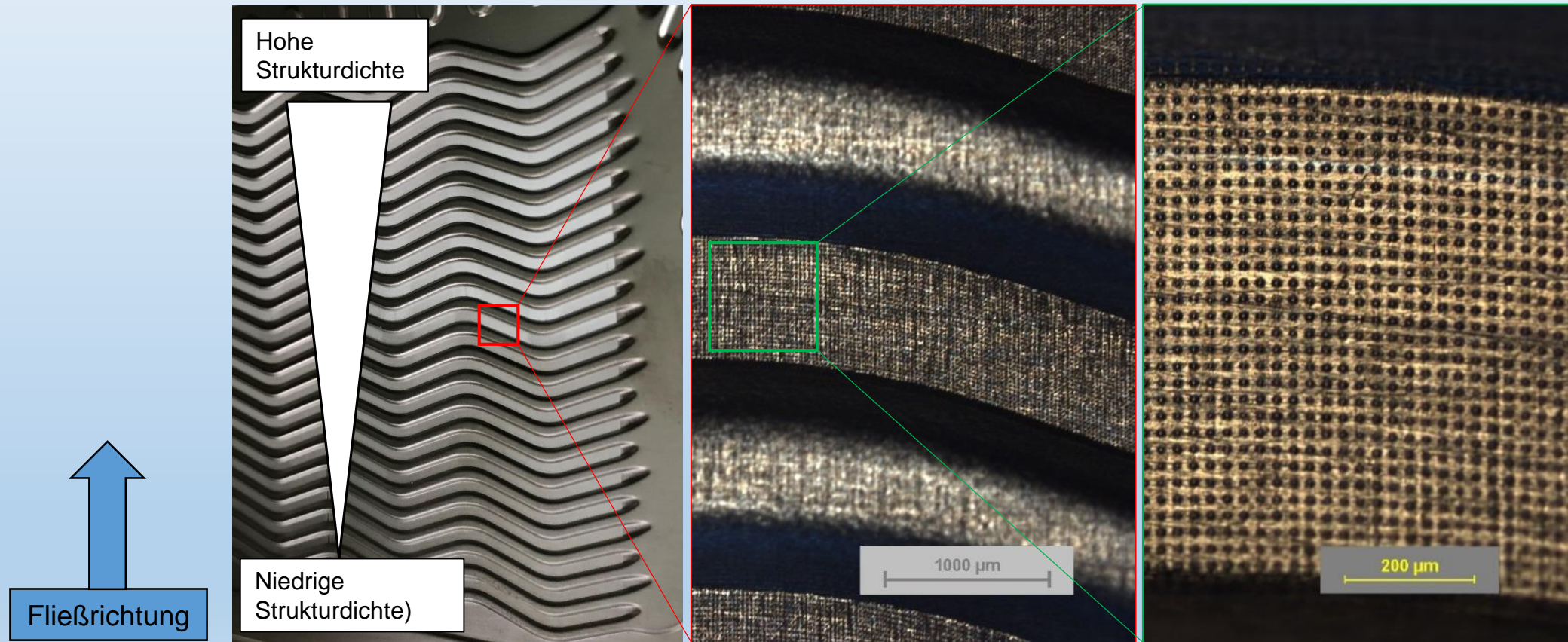


Gesamtaufbau des Versuchsstands: (1) Kühlmittelbereitstellung und -konditionierung, (2) Prüfkammer, (3) Steuerungstechnik und Datenerfassung



## 4. Thermische Charakterisierung

### Laserstrukturierung



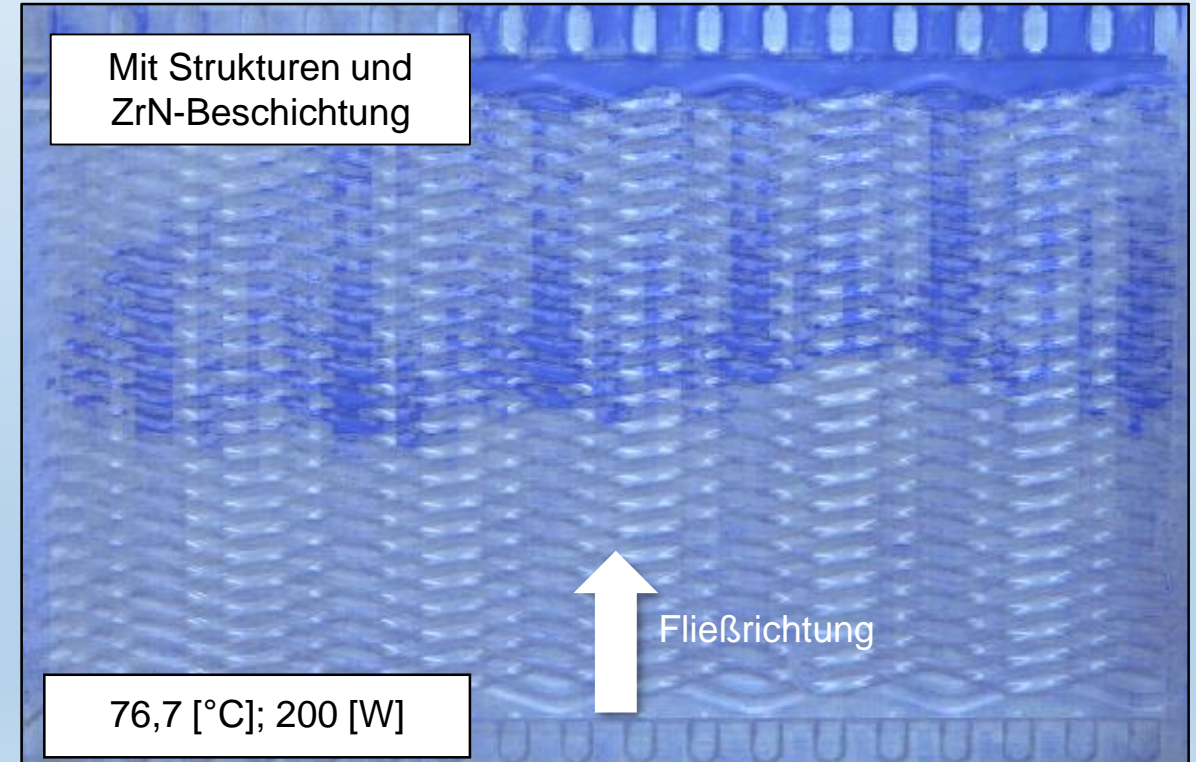
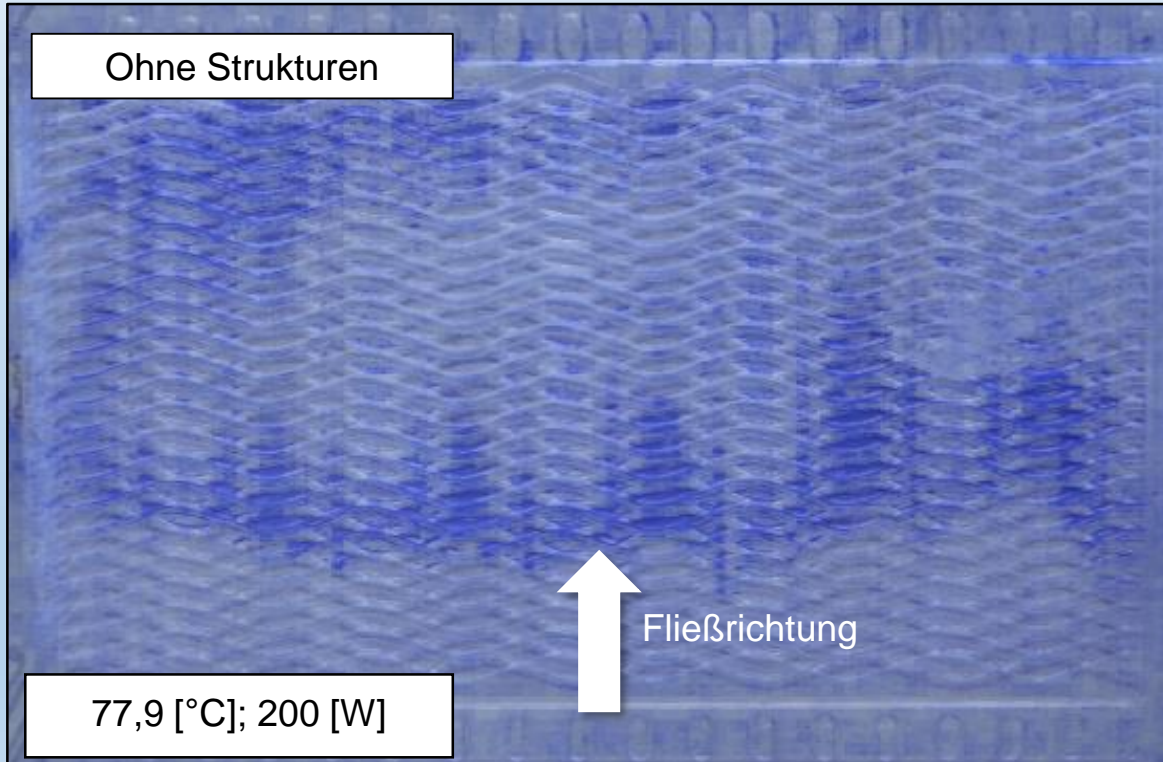
*Laserstrukturierte Bipolarplatte: Ausschnitt Flussfeld (links); Detaildarstellung Wellenstruktur (Mitte); Detaildarstellung Laserstrukturierung (rechts)*



## 4. Thermische Charakterisierung

### Auswertung Strömungsfeld - Blasenbildung

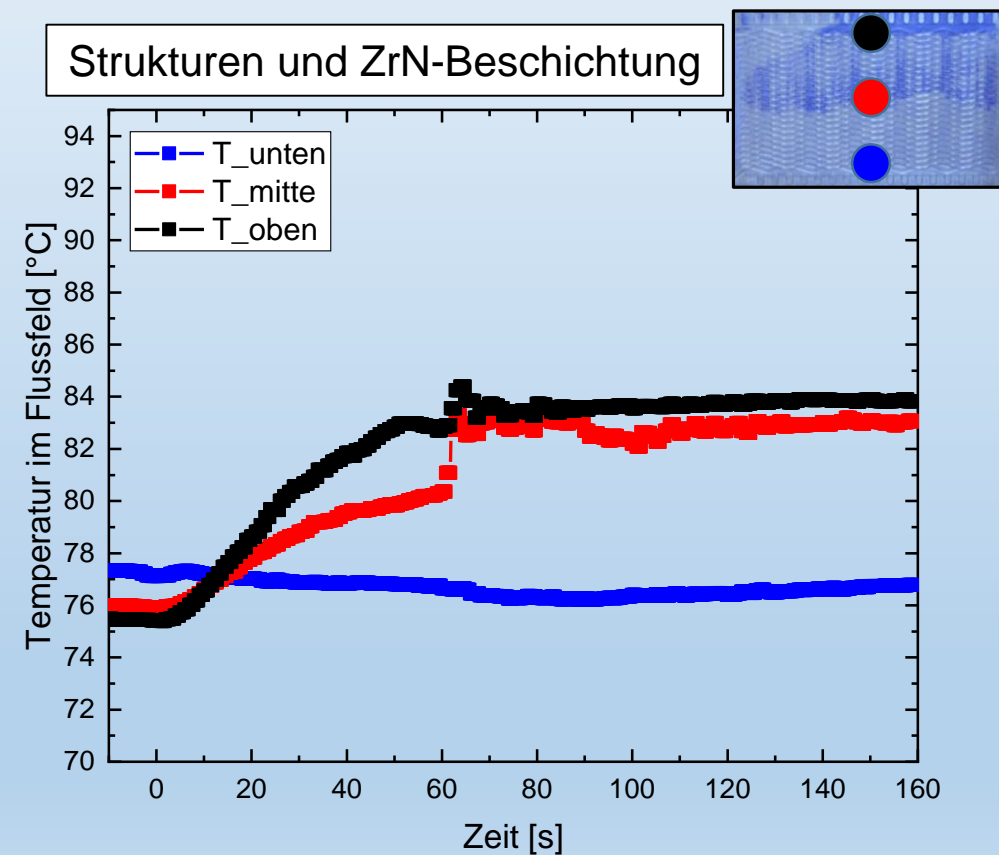
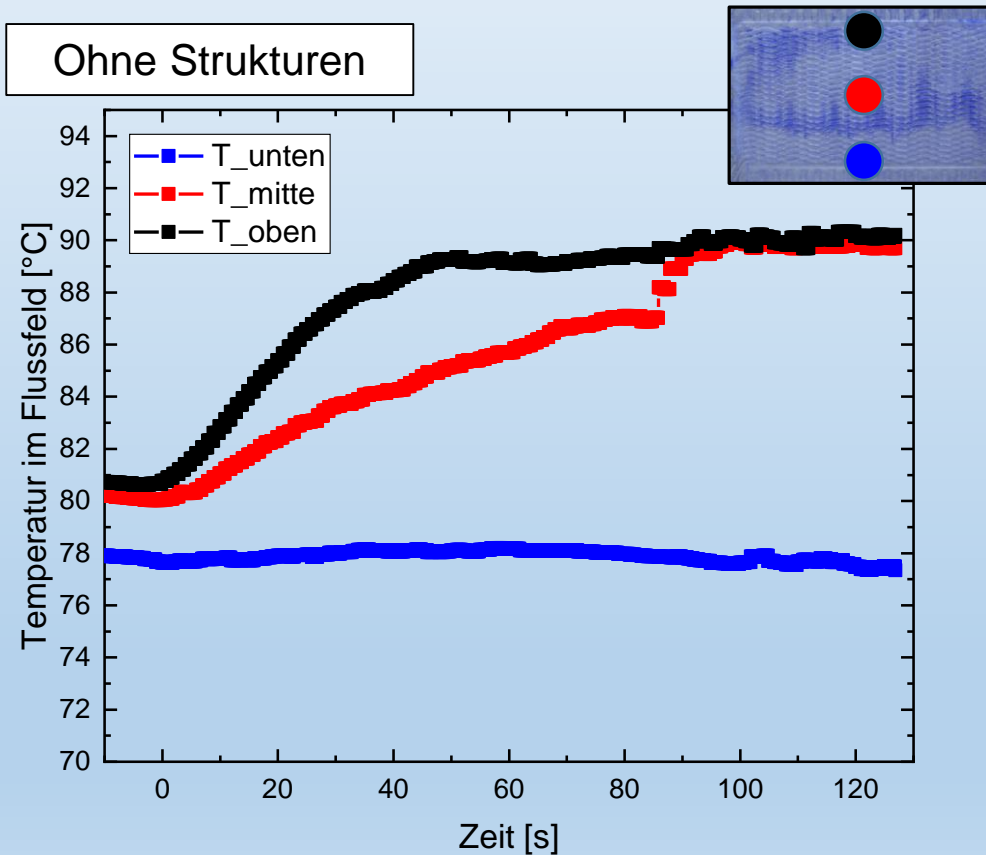
- Auswertung mittels MatLab-Script (blau = starke Blasenbildung = Übergang flüssig-gasförmig)



*Intensität der Blasenbewegung im Flussfeld der unstrukturierten (links) und laserstrukturierten Bipolarplatte (rechts)*

## 4. Thermische Charakterisierung

### Auswertung Strömungsfeld - Temperaturverlauf



Zeitlicher Temperaturverlauf im Flussfeld der unstrukturierten (links) und laserstrukturierten (rechts) Bipolarplatte

1. Konsortium
2. Projektziele
3. Entwicklung Bipolarplatten
4. Thermische Charakterisierung
- 5. Forschungsfunktionsmuster**
6. Zusammenfassung und Ausblick



## 5. Forschungsfunktionsmuster

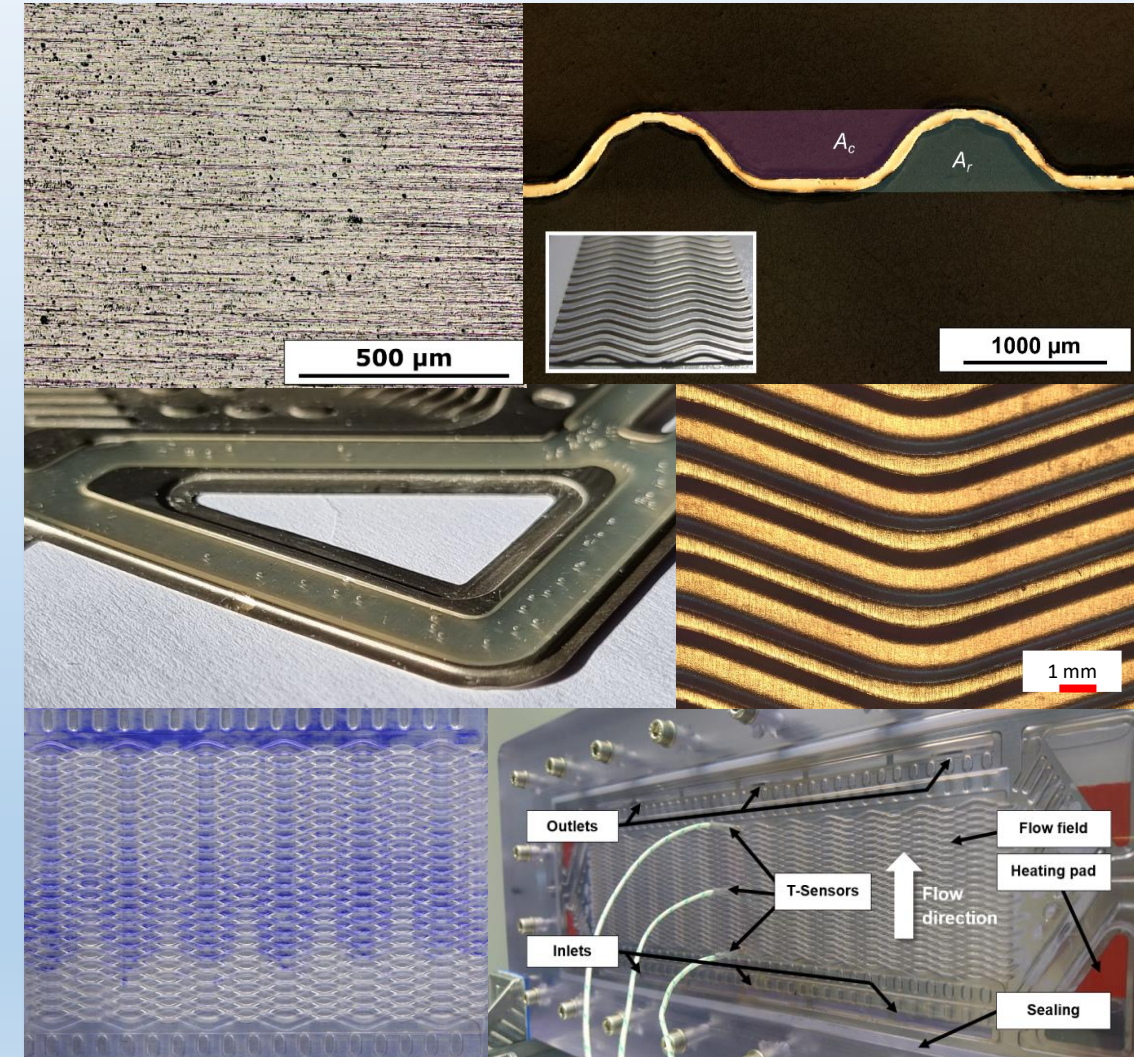


Merkmale	Referenzstack	Forschungsfunktionsmuster
Anzahl der Zellen	20	20
Flussfeldgeometrie	Beidseitig Kathodenseite	Kathoden- und Anodenseite
Fügeverbindung	Laserschweißen	Laserschweißen
Oberflächenmodifikation	Beschichtung mit amorphem Kohlenstoff	Beschichtung mit ZrN und/oder zusätzlicher Lasermikrostrukturierung
Dichtungsapplikation	Flachdichtung	Auftrag mit Dispenser
Thermische und elektrische Charakterisierung	Messergebnisse vorhanden	Noch offen

1. Konsortium
2. Projektziele
3. Entwicklung Bipolarplatten
4. Thermische Charakterisierung
5. Forschungsfunktionsmuster
- 6. Zusammenfassung und Ausblick**

## 6. Zusammenfassung

- Folgeverbundwerkzeug zur Fertigung von metallischen Bipolarplatten entwickelt und in Presse integriert
- Rissfreie Fertigung mit geringen Abweichungen zur Zielgeometrie
- Laserstrukturierung und Beschichtung einzelner Platten umgesetzt
- Flüssigdichtung als Dichtungskonzept erfolgreich umgesetzt
- Versuchsstand zur thermischen Charakterisierung wurde entwickelt und realisiert
- Gezielte Beeinflussung des thermischen Verhaltens durch Oberflächenmodifikation nachgewiesen





## 6. Ausblick und Verwertung

- Abschließende Funktionsprüfungen am Forschungsfunktionsmuster
- Weiterentwicklung der Einzelkomponenten
- Überführung der Fertigungstechnologien in die Serienfertigung
- Bipolarplatten und Stacks als Produkte der WätaS Gruppe
- Prozessoptimierung der Beschichtungstechnologien
- Übertragung der entwickelten Applikationen auf weitere Anwendungsfälle
- Dienstleister in der Beschichtung von Bipolarplatten für prototypische Anwendungen
- Überführung des Forschungswerkzeugs für die Bipolarhalbplatten in ein großserienfähiges Werkzeug
- Weiterentwicklung des Werkzeugs aus den Erfahrungen im längeren Betrieb
- Anbieter von Werkzeugsystemen zur Bipolarhalbplattenfertigung
- Identifikation weiterer Forschungspotentiale im Bereich der Brennstoffzellentechnik, insbesondere der Kühltechnologien
- Initiieren weiterer Forschungsvorhaben und Übertragung der Ergebnisse in die akademische Lehre



## Kontakt



Dr. Mike Zinecker  
Forschung und Entwicklung  
E-Mail: [zinecker@waetas.de](mailto:zinecker@waetas.de)  
Phone: +49 37 360 / 69 49 20

Wärmetauscher Sachsen GmbH  
Lindenstraße 5  
D-09526 Olbernhau

Gefördert vom Sächsischen Staatsministerium  
für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr im Rahmen  
der EFRE-Technologieförderung  
Projektträger: SAB Sächsische Aufbaubank



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch  
Steuermittel auf Grundlage des von den  
Abgeordneten des Sächsischen Landtags  
beschlossenen Haushaltes.