



FAKULTÄT FÜR  
MASCHINENBAU



MDZ-Forschungsseminar 2019:

Widerstandsschweißen mit variabler Elektrodenkraft -  
Entwicklung eines Kraftprofils mithilfe einer  
Prozessdatenanalyse

M.Sc. M. Wohner; Prof. Dr.-Ing. S. Jüttner

**INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND FÜGETECHNIK**  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Universitätsplatz 2  
39106 Magdeburg  
iwf@ovgu.de

# Gliederung

1.

Einführung:

- Motivation
- Zielsetzung

2.

Ausgangszustand:

- Prozessmodell
- Prozessdaten

3.

Ergebnisse:

- Konzeption des Kraftprofiles
- Kraftprofil vs. konstanter Elektrodenkraft

4.

Zusammenfassung und Ausblick



## Widerstandspunktschweißen

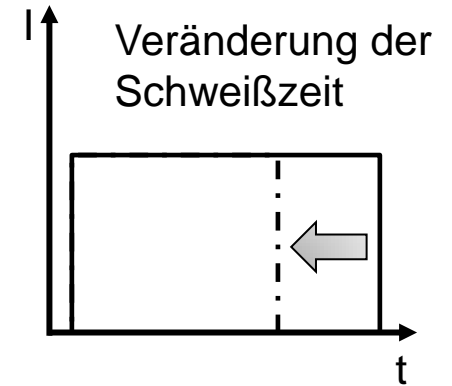
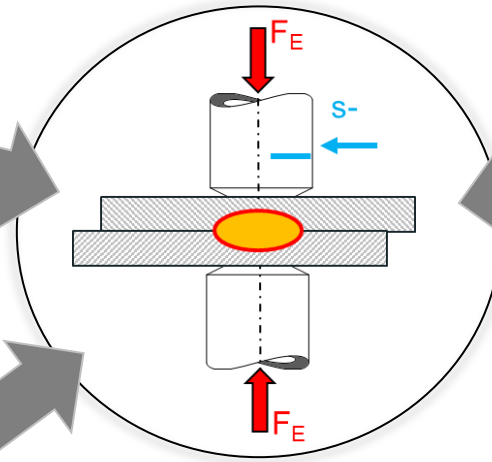
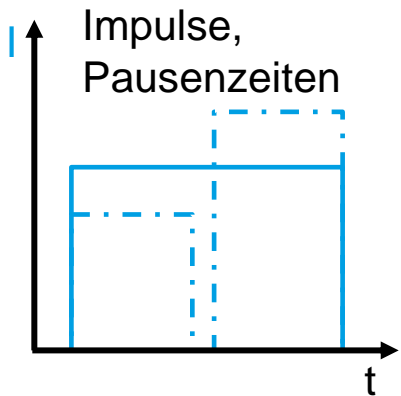
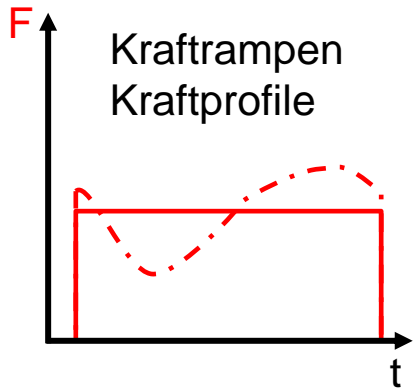
- Effizientes Fügeverfahren zur Komponentenfertigung im Dünoblechbereich
- Vorteile liegen in der einfachen Automatisierung, kostengünstige Nutzung
- Verwendung in zahlreichen Branchen, z. B. Automobilindustrie, Schienenfahrzeugbau

In Anlehnung an [DVS; 2017]

## Herausforderungen

- Durch die Anwendung von neuen Legierungs- und Beschichtungskonzepten ergeben sich stets neue Herausforderungen an das Widerstandspunktschweißen
- Qualität der Verbindung wird direkt durch die Schweißparameter beeinflusst
- Aufgrund der großen Anzahl von Punktschweißungen müssen die Prozessparameter fein abgestimmt werden
- Parametrisierung des Schweißprozesses erfolgt durch die Erfahrung des Anwenders

# Einführung: Herausforderungen beim Widerstandspunktschweißen



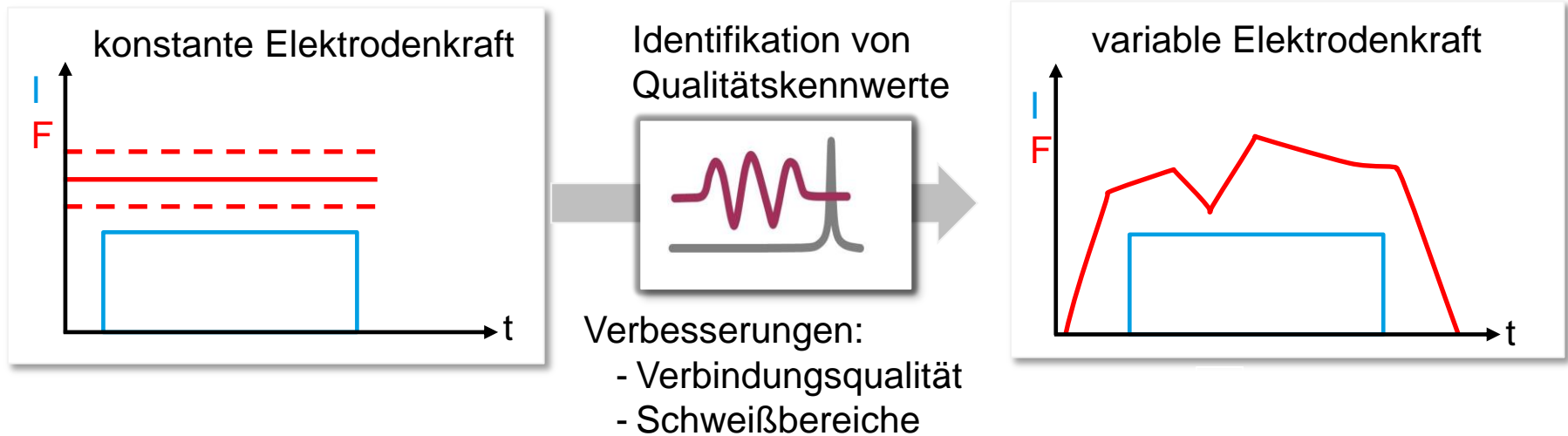
## Herausforderung

- Presshärten verursacht Streuungen im Prozess
- Werkstoff neigt früh zur Bildung von Schweißspritzern
- Sicheres Prozessfenster sehr klein bzw. Größe des Schweißbereiches liegt an unterer Grenze nach Norm

[Holtschke, 2016]

# Einführung: Zielsetzung

- Verwendung von Kraftprofilen zur Erweiterung der Schweißstrombereiche sowie der Verbindungsqualität
- Identifizierung geeigneter Qualitätsmerkmale zur Modellierung von Kraftprofilen



Generierung eines Schweißprozesses mit optimiertem Elektrodenkraftverlauf, zur Verbesserung der Schweißbarkeit und Verbindungsqualität von 22MnB5

# Gliederung

1.

Einführung:

- Motivation
- Zielsetzung

2.

Ausgangszustand:

- Prozessmodell
- Prozessdaten

3.

Ergebnisse:

- Konzeption des Kraftprofils
- Kraftprofil vs. konstanter Elektrodenkraft

4.

Zusammenfassung und Ausblick



# Ausgangszustand: Prozessmodell



## Inputvariablen

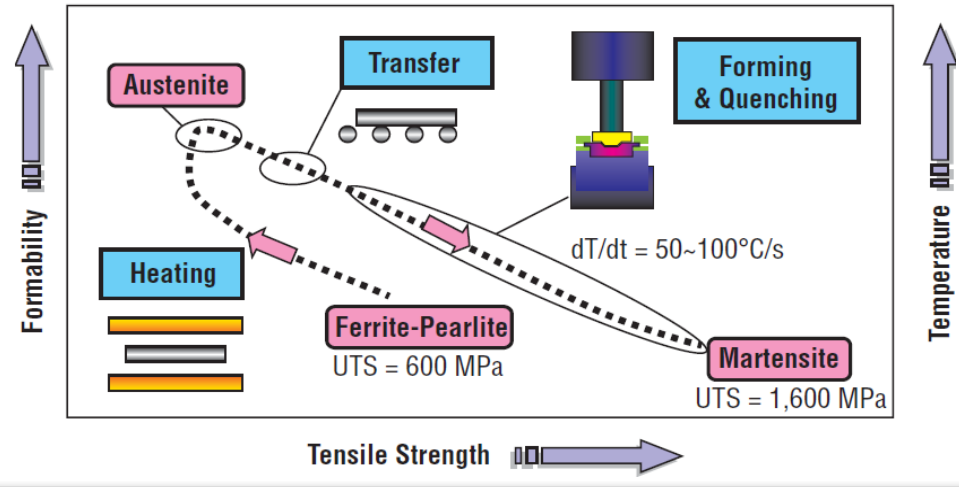
**Presshärteprozess:**  
Ofentemperatur  $900^{\circ}\text{C}$   
Ofenverweildauer 6 min

**Werkstoff 22MnB5**

**Blechdicke  $t = 1,5\text{ mm}$**

**Beschichtung AS150**

## Schematischer Ablauf des Formhärtens



# Ausgangszustand: Prozessmodell



Eingangsgrößen

**Schweißprozess**  
(in Anlehnung an SEP 1220 T2)

Schweißpunkt

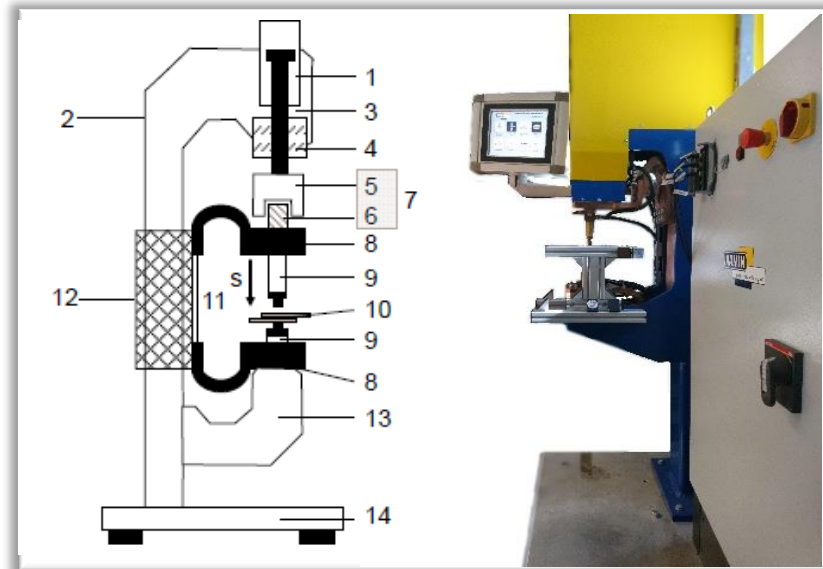
## Inputvariablen

**Presshärteprozess:**  
Ofentemperatur  $900^{\circ}\text{C}$   
Ofenverweildauer 6 min

Werkstoff 22MnB5

Blechdicke  $t = 1,5\text{ mm}$

Beschichtung AS150





# Ausgangszustand: Prozessmodell



## Wie kann ein Kraftprofil analytisch entwickelt werden?

Ofentemperatur 900° C  
Ofenverweildauer 6 min

Werkstoff 22MnB5

Blechdicke  $t = 1,5 \text{ mm}$

Beschichtung AS150

Elektrodenkraft

Schweißstrom

Schweißzeit

Konstanter Parameter:  
Schweißzeit (380 ms)  
1 Schweißimpuls

Scherzugkraft

Elektrodeneindruck

Linsengeometrie

# Ausgangszustand: Prozessdaten

|                   |                      | <i>erfassbare Messgrößen</i> |          |       |                 |         |
|-------------------|----------------------|------------------------------|----------|-------|-----------------|---------|
|                   |                      | Elektrodenbewegung           | Spannung | Strom | dyn. Widerstand | Energie |
| <b>Störgrößen</b> | Stromschwankung      | +                            | +        | +     | +               | +       |
|                   | Nebenschluss         | +                            | +        |       | +               |         |
|                   | Elektrodenverschleiß | +                            | +        |       | +               | +       |
|                   | Spritzer             | +                            | +        | +     | +               | +       |
|                   | Schlechte Passung    | +                            |          |       | +               |         |
|                   | Schlechte Oberfläche | +                            | +        | +     |                 |         |
|                   | Dickenveränderung    | +                            | +        | +     | +               | +       |
|                   | Anzahl der Bleche    | +                            | +        | +     | +               |         |
|                   | Materialveränderung  | +                            |          |       | +               |         |

in Anlehnung an [Kuban et al.; 1989]; [Janota, Kuban; 1977]

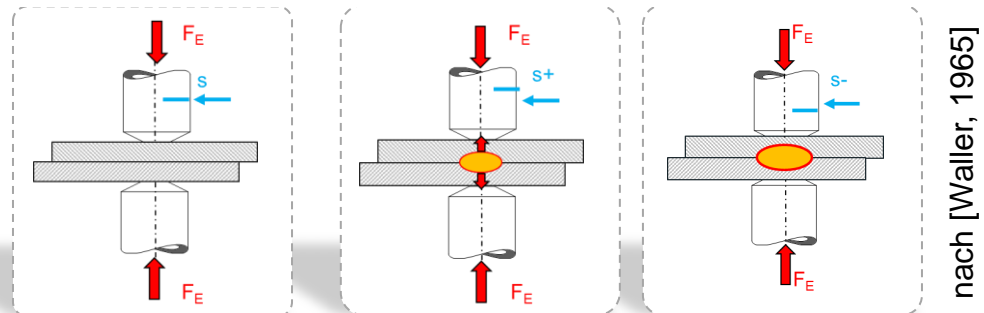
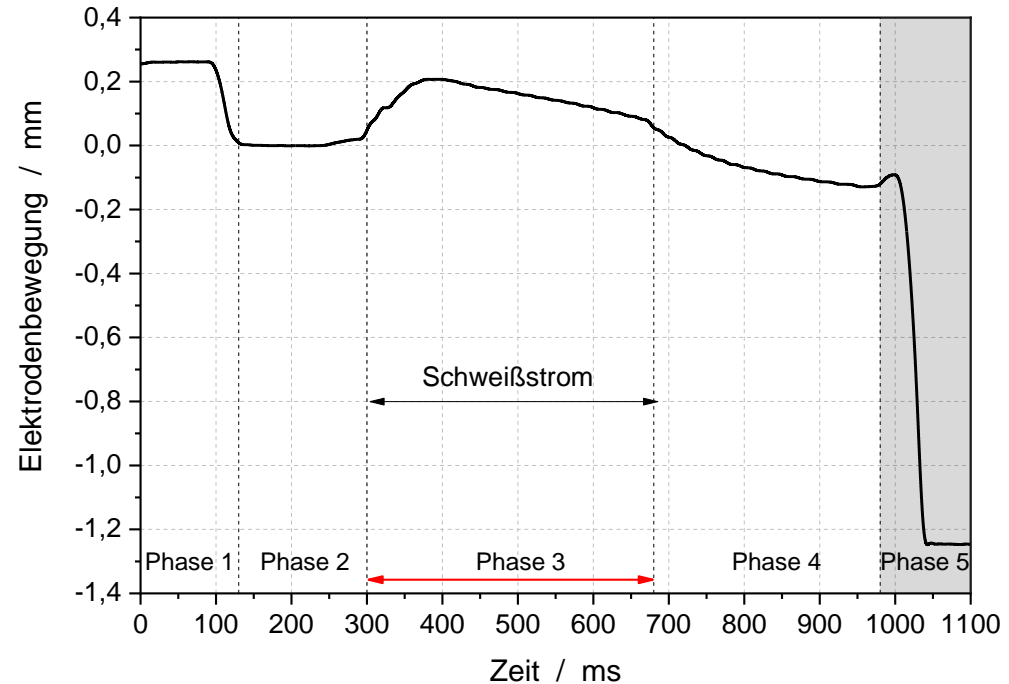
Datenanalyse erfolgte durch ein selbstentwickeltes Auswerteprogramm:

- 46 Kennwerte werden pro Schweißpunkt ermittelt
- Automatische Klassifizierung der Schweißung bzgl. eines Spritzers und dessen Zeitpunktes

# Elektrodenweg als Prozessgröße

## Phasen der Elektrodenbewegung

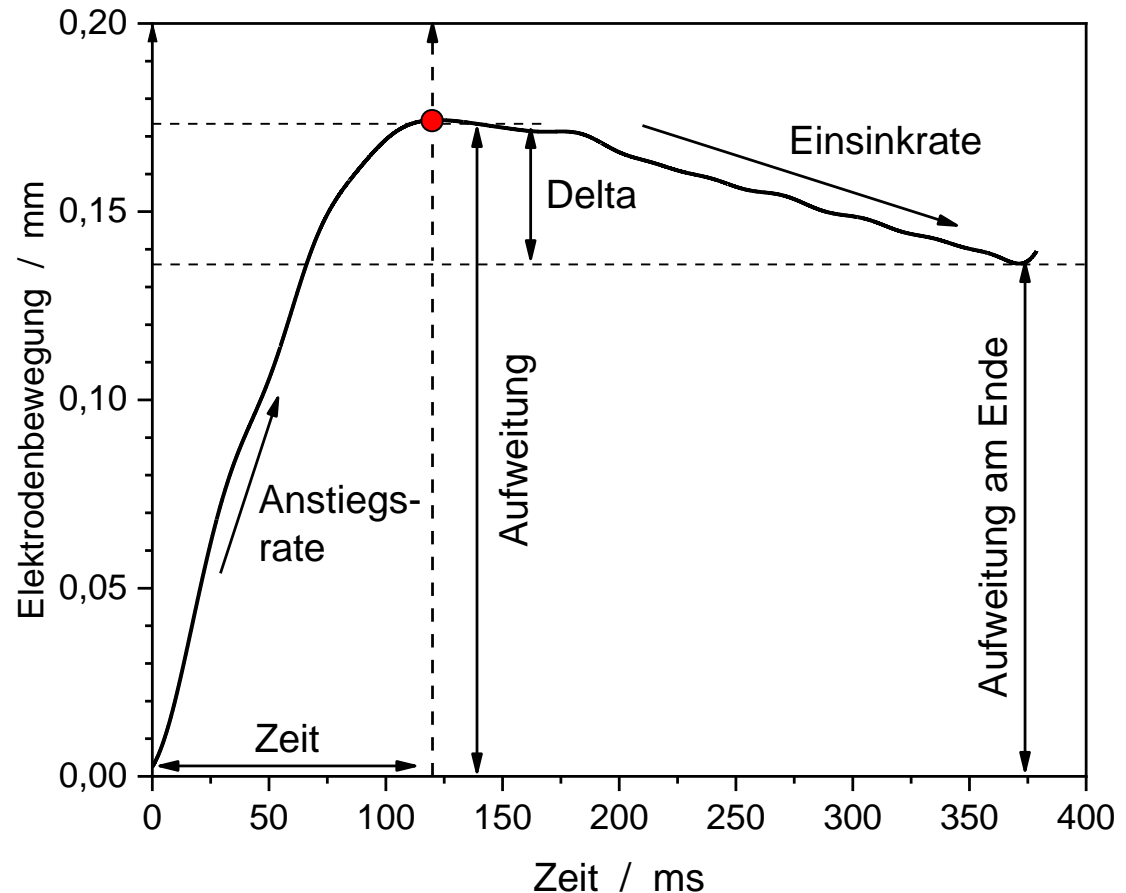
1. Aufsetzen der Elektroden auf der Oberfläche und schneller Kraftaufbau
2. Vorhaltezeit
3. Schweißphase mit charakteristischem Verlauf der Elektrodenbewegung
4. Nachhaltezeit mit erkennbarem Einsinken
5. Auseinanderfahren der Elektroden am Ende des Prozesses



# Elektrodenwegverlauf in der Schweißphase

## Charakteristische Punkte

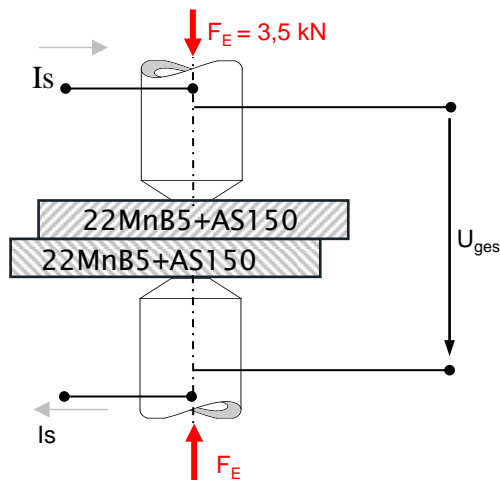
1. Maximale Aufweitung der Elektroden (roter Punkt)
2. Zeitliche Dauer bis zur maximalen Aufweitung
3. Anstiegsrate bis zur maximalen Aufweitung
4. Aufweitung am Ende der Stromphase
5. Differenz zwischen maximaler Aufweitung und Aufweitung am Ende
6. Einsinkrate bis zur Aufweitung am Ende



# Beschreibung der Punktentwicklung beim Widerstandspunktschweißen

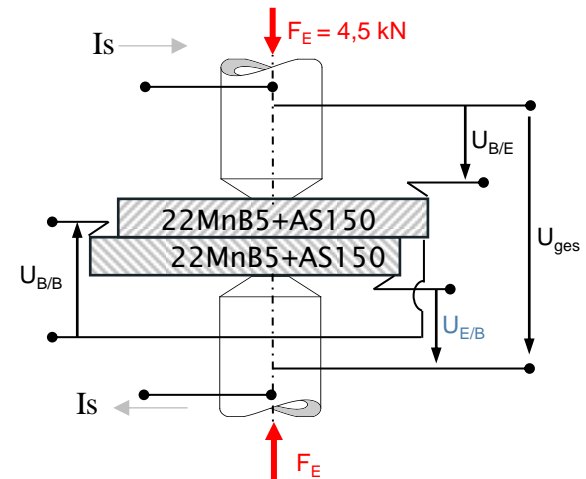
## Beschreibung der Punktentwicklung durch die Messung der Teilleistungen:

- Beschreibung der Punktentstehung durch den ges. Widerstandsverlauf [Ighodaro et al.]
- Messung der Teilspannungen gibt Rückschlüsse über die Fügeebene, sensitivere Abbildung der Linsenausbildung



*Beim Schweißen!*

Messung  
Teilspannung



# Beschreibung der Punktentwicklung beim Widerstandspunktschweißen

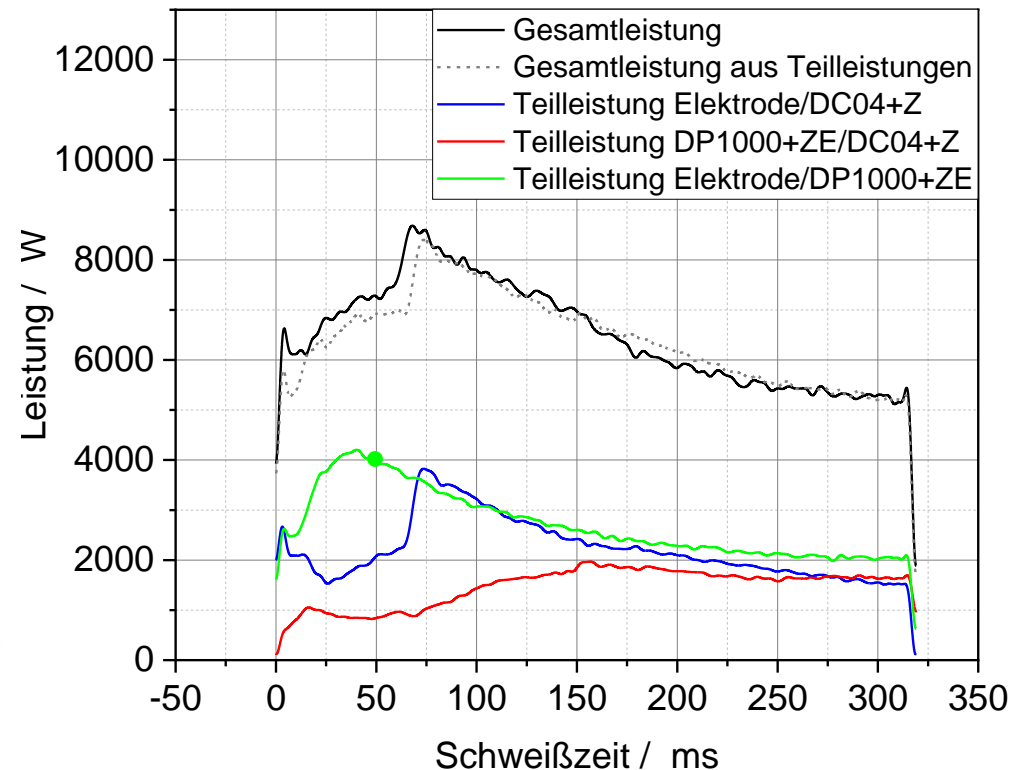
- Für artfremde Mehrblechverbindungen geeignet, um die Linsenausbildung in den Fügeebenen zu detektieren
- Gesamtleistung ist eine Überlagerung aller Teilleistungen

## Gesamtleistung aus den Spannungsabfall zwischen:

- Elektrode / Blech
- Blech / Blech
- Blech / Blech
- Blech / Elektrode

## Deutung:

- Berechnung der ges. Energien
- Linsenentstehung je Fügeebene



# Beschreibung der Punktentwicklung beim Widerstandspunktschweißen

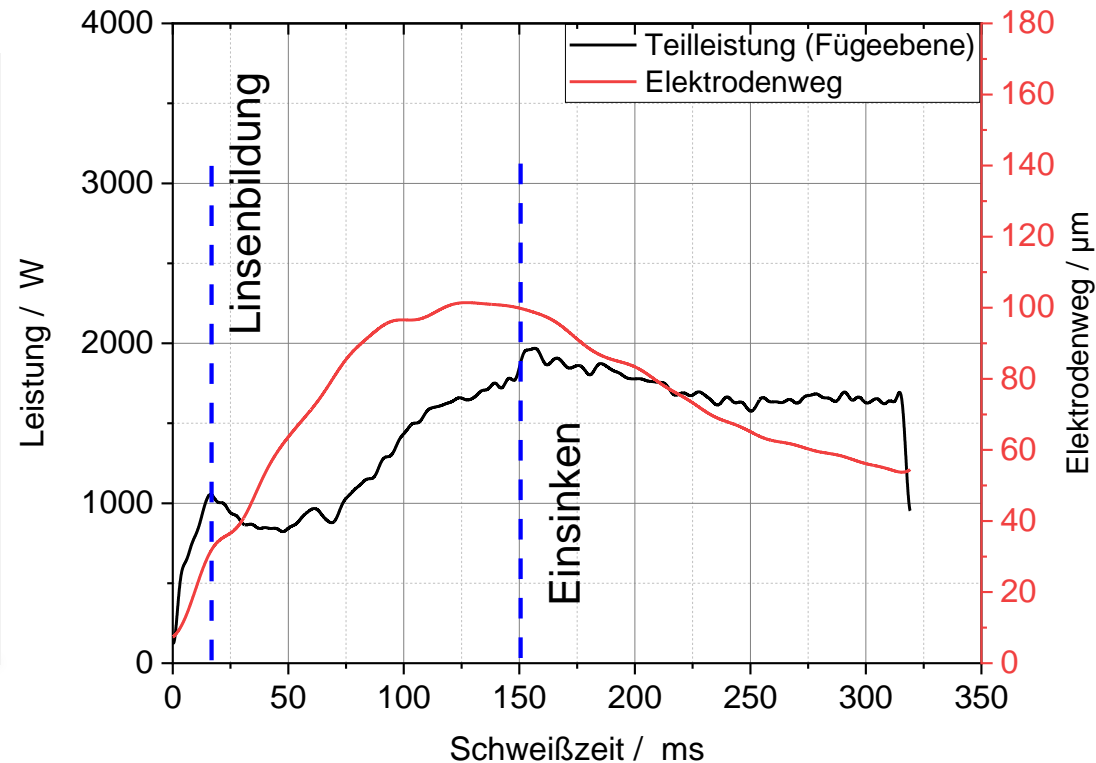
- Beschreibung der Linsenbildung in der Fügeebene wird durch die Teilleistungsmessung sensitiver
- Korrelation zwischen Teilleistung in der Fügeebene und des Elektrodenweges

## Gesamtleistung aus den Spannungsabfall zwischen:

- Elektrode / Blech
- Blech / Blech
- Blech / Elektrode

## Beschreibung:

- der Linsenbildung
- des Einsinkens der Elektroden in den Werkstoff



# Gliederung

1.

Einführung:

- Motivation
- Zielsetzung

2.

Ausgangszustand:

- Prozessmodell
- Prozessdaten

3.

Ergebnisse:

- Konzeption des Kraftprofils
- Kraftprofil vs. konstanter Elektrodenkraft

4.

Zusammenfassung und Ausblick



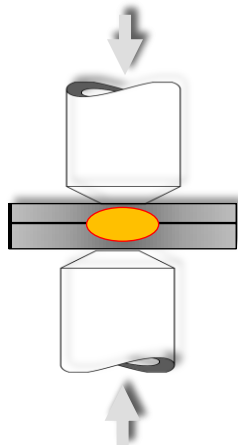


# Beurteilung von Schweißbereichsdiagrammen

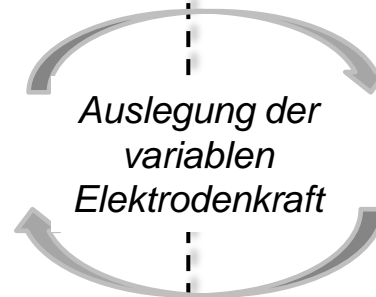
## Fragestellungen

- Wie kann analytisch ein Kraftprofil entwickelt werden?
- Existieren Kennwerte zur systematischen Auslegung des Kraftprofiles?

### Abschnitt 1



### Abschnitt 2



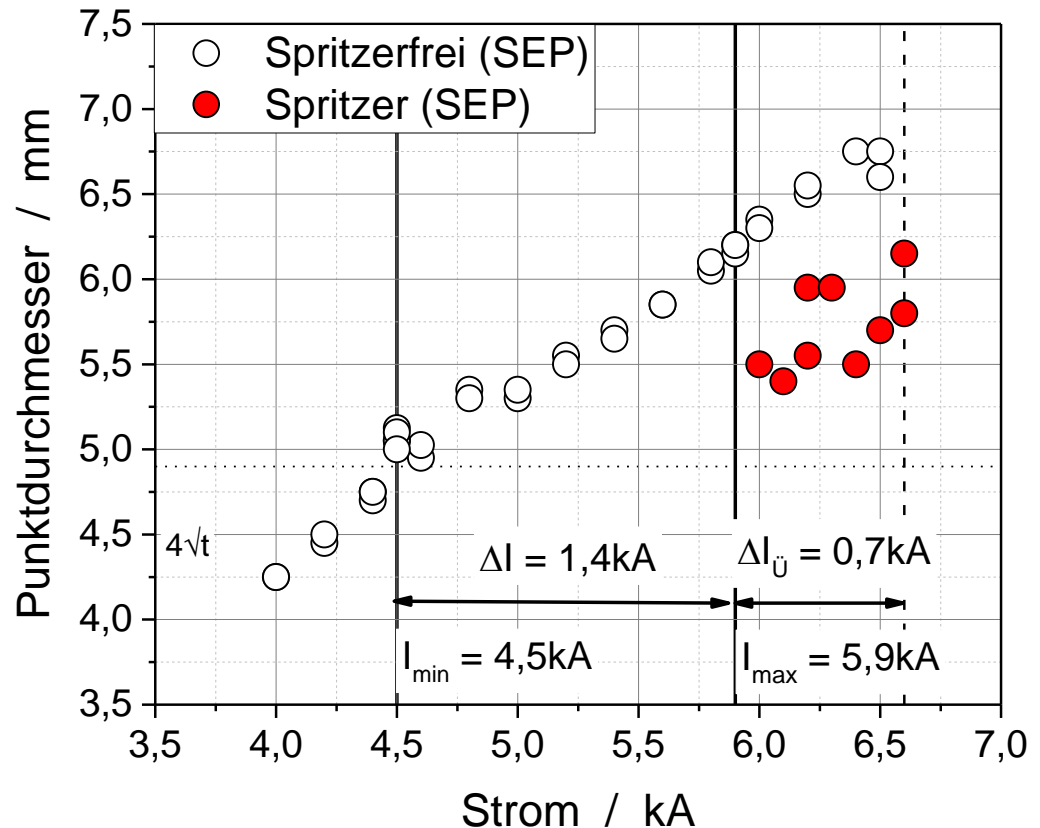
```
010110100001001001010100  
101010101010010101010100  
101010111101000011010100  
1100101010101010101010  
101011110011100100101  
01001010101111110001  
01001010100000100011110  
01100000010010000100000
```

**Untersuchung d. Schweißbereiche**  
nach den SEP 1220-2 Parametern

**Datenanalyse**  
Existieren Korrelationen zwischen  
den Daten und der Schweißqualität?

# Ergebnisse: Konzeption des Kraftprofiles

| Schweißparameter<br>nach SEP 1220-2 |        |
|-------------------------------------|--------|
| Impulszahl                          | 1      |
| Vorhaltezeit                        | 200 ms |
| Schweißzeit                         | 380 ms |
| Nachhaltezeit                       | 300 ms |
| Elektrodenkraft                     |        |
| 4,5 kN Konstant (SEP)               |        |
| Werkstoff                           |        |
| 22MnB5+AS150 (t=1,5 mm)             |        |
| Ofentemperatur 900 ° C              |        |
| Schweißanlage                       |        |
| NIMAK - MFDC 1000 Hz                |        |
| Elektroden                          |        |
| B0-16-20-8-50-6,0 [CuCr1Zr]         |        |

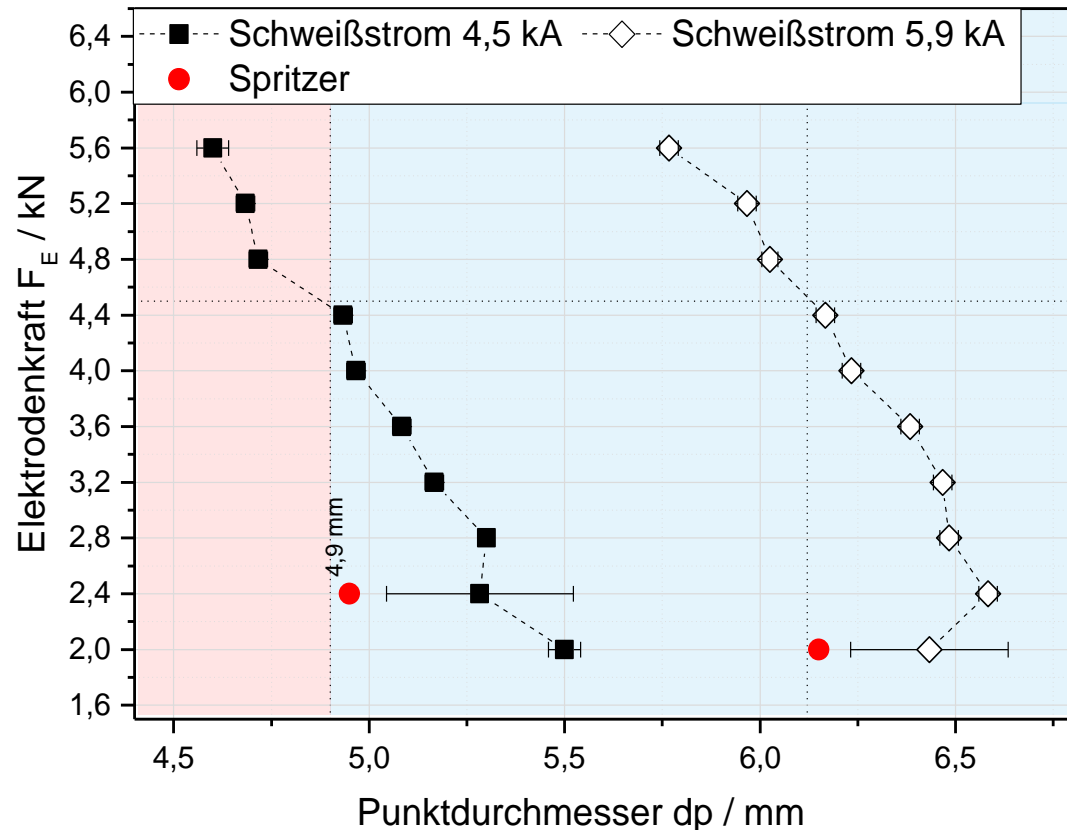


Welche Fragen müssen zur Vergrößerung des Schweißbereiches geklärt werden:

- Welchen Einfluss besitzt die konstante Elektrodenkraft auf den Schweißbereich?
- Wann und warum entstehen Spritzer?
- Können Spritzer vorhergesagt werden mittels Kennwert?

# Ergebnisse: Konzeption des Kraftprofiles

| <b>Schweißparameter</b><br><i>nach SEP 1220-2</i> |        |
|---|--------|
| Impulszahl  | 1      |
| Vorhaltezeit                                      | 200 ms |
| Schweißzeit                                       | 380 ms |
| Nachhaltezeit                                     | 300 ms |
| <b>Elektrodenkraft</b>                            |        |
| 0,4 kN zwischen<br>2,0 – 5,0 kN                   |        |
| <b>Werkstoff</b>                                  |        |
| 22MnB5+AS150 (t=1,5 mm)                           |        |
| Ofentemperatur 900 ° C                            |        |
| <b>Schweißanlage</b>                              |        |
| NIMAK - MFDC 1000 Hz                              |        |
| <b>Elektroden</b>                                 |        |
| B0-16-20-8-50-6,0 [CuCr1Zr]                       |        |



## Elektrodenkraft muss:

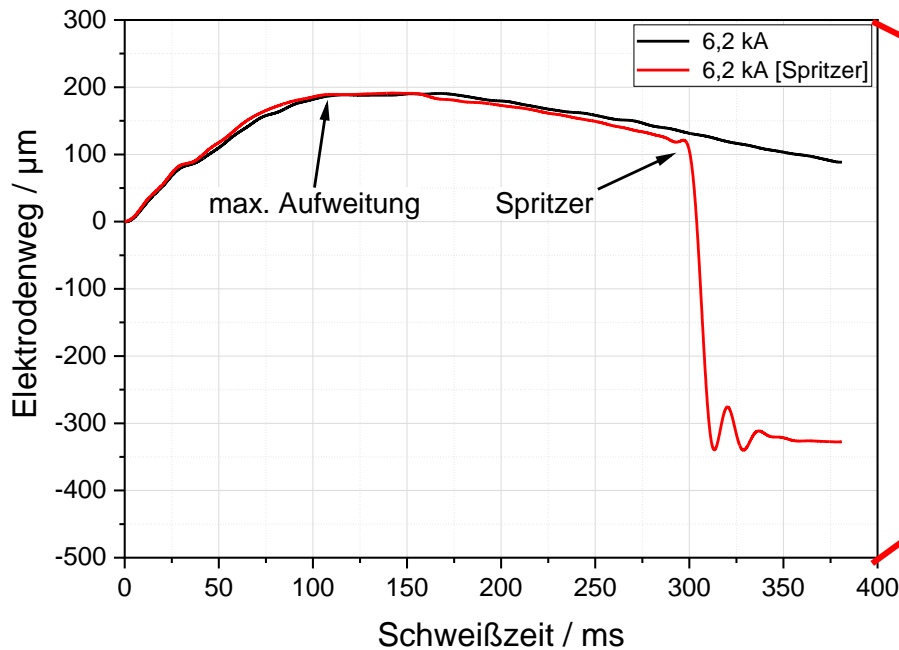
- größer als 2,5 kN sein, um Spritzern entgegenzuwirken

# Datenanalyse: Spritzerauftreten

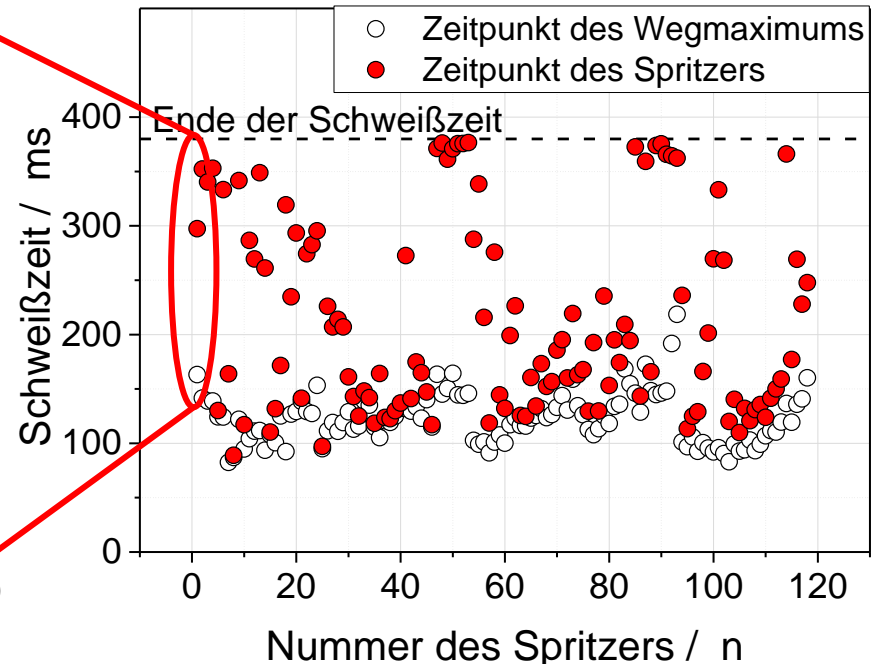
01011010000100100101010010101010101001010101010111010000110101001100110101010101010101011  
11100111100100101010010101010101111100010110001100000100100001000001001001010  
101010010101010010101010101010010101010101010101010101010101010101010001010011001010101

## Datenanalyse

### Elektrodenwegverlauf



### Spritzerauftreten

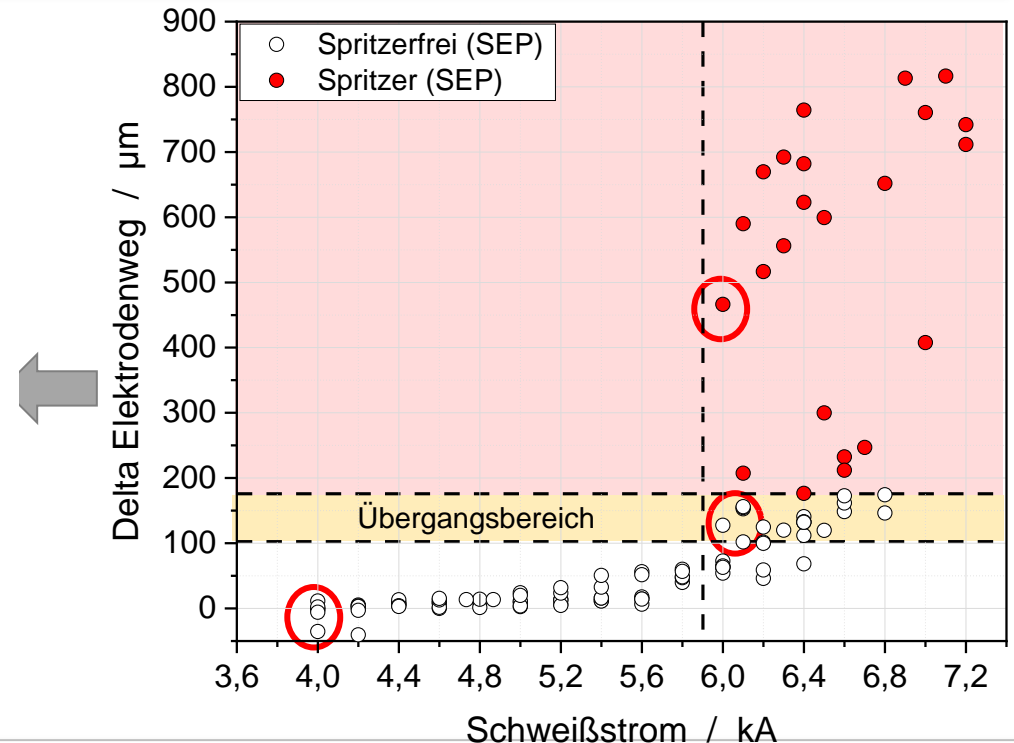
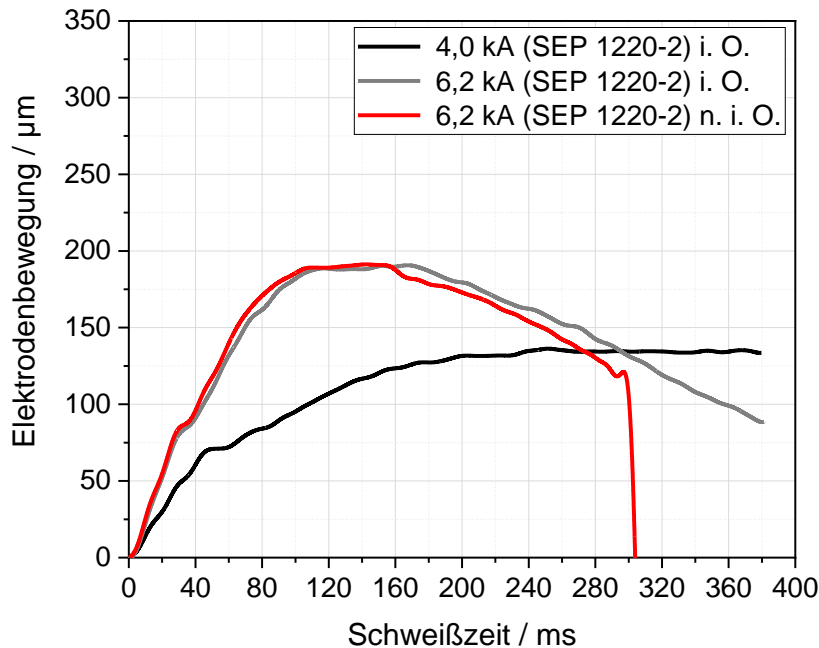


### Wann treten Schweißspritzer auf?

- wenn die Elektrodenkraft zu niedrig ist,
- nach dem Erreichen des Maximum des Elektrodenweges.

# Ergebnisse: Wann treten Spritzer auf?

## Datenanalyse



### Ergebnisse aus der Datenanalyse, warum und wann Spritzer erfolgen

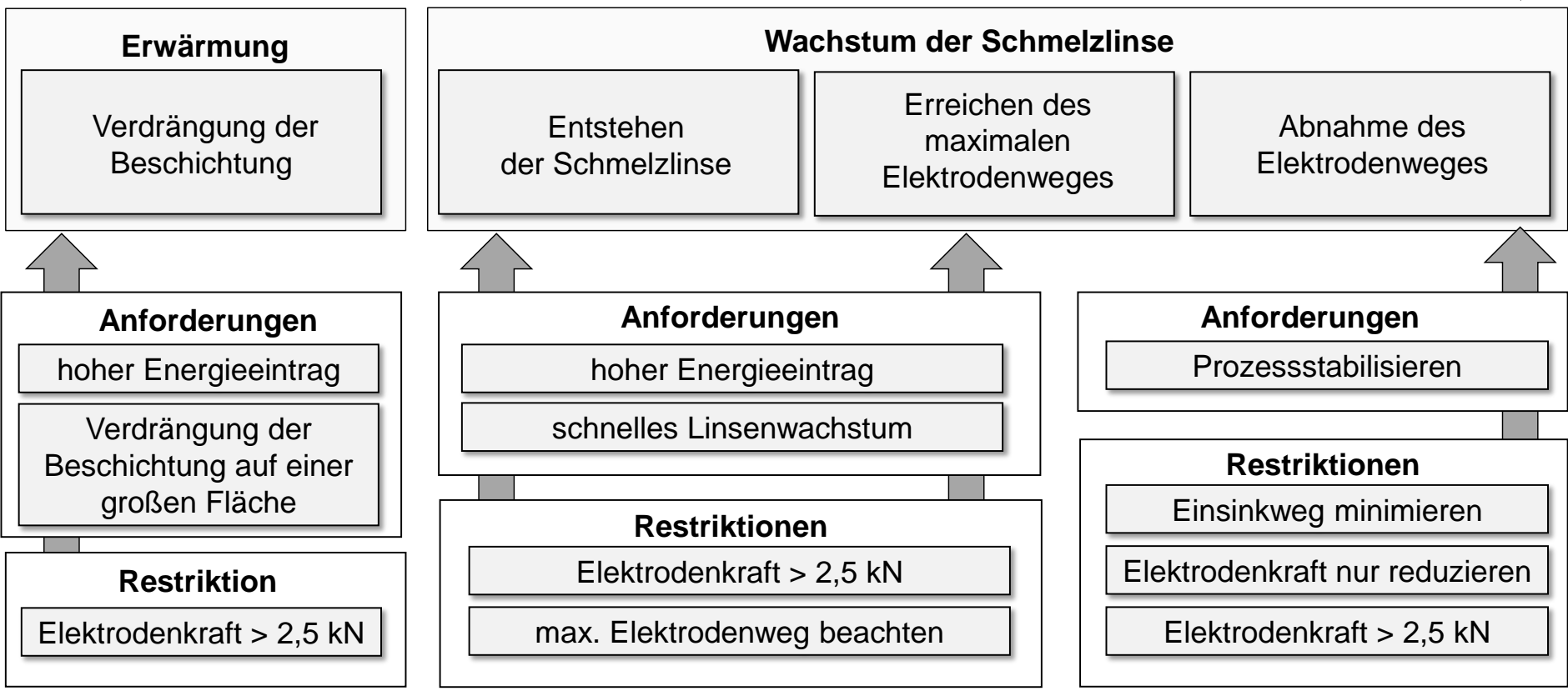
- Elektrodenkraft ist zu niedrig ( $\leq 2.4\text{kN}$ )
- nur **nach** dem Erreichen der maximalen Elektrodenaufweitung im Wegsignal
- nur wenn die Elektroden in den Werkstoff über einen spezifischen Wert einsinken

# Ergebnisse: Konzeption des Kraftprofiles (theoretisch)

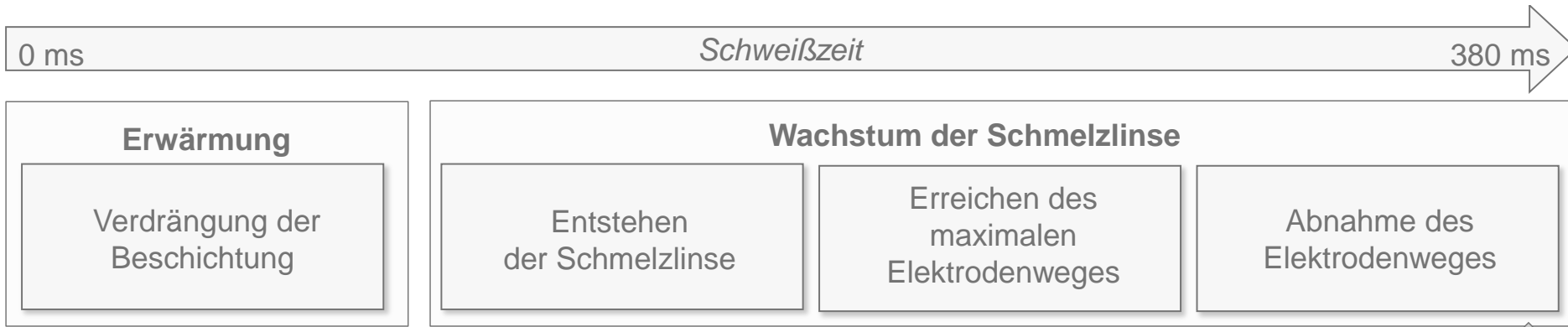
01011010000100100101010010101010101001010101010111010000110101001100110101010101010101010101011  
11100111100100101010010101010101011111000101011100011000001001000010000001001001010  
10101001010101001010100100101000101001100101010

## Konzeption

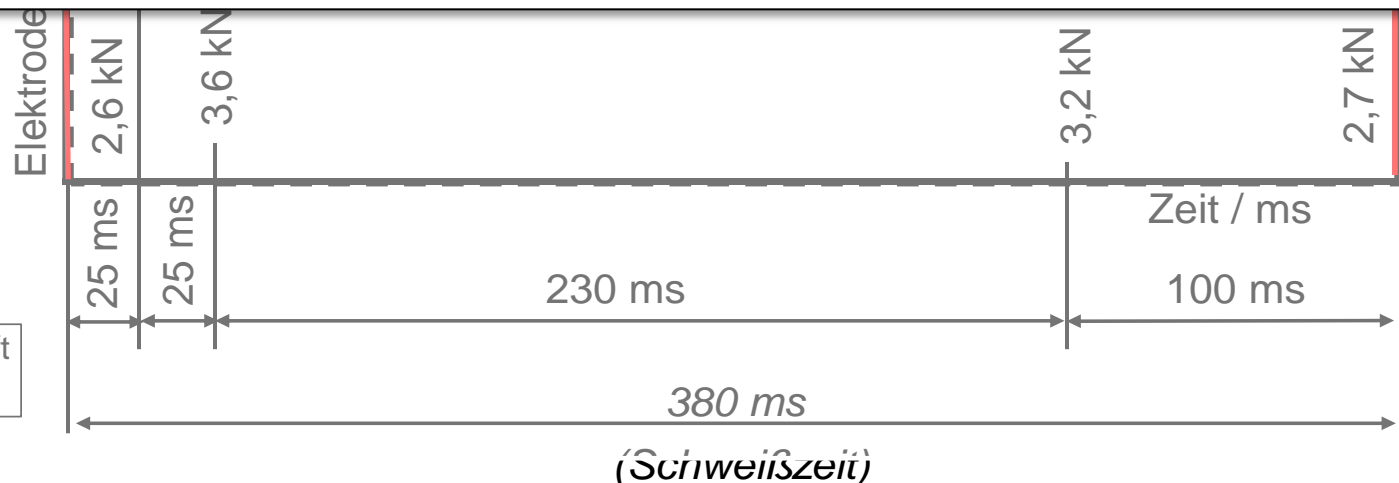
0 ms Schweißzeit 380 ms



# Ergebnisse: Konzeption des Kraftprofils (praktisch)

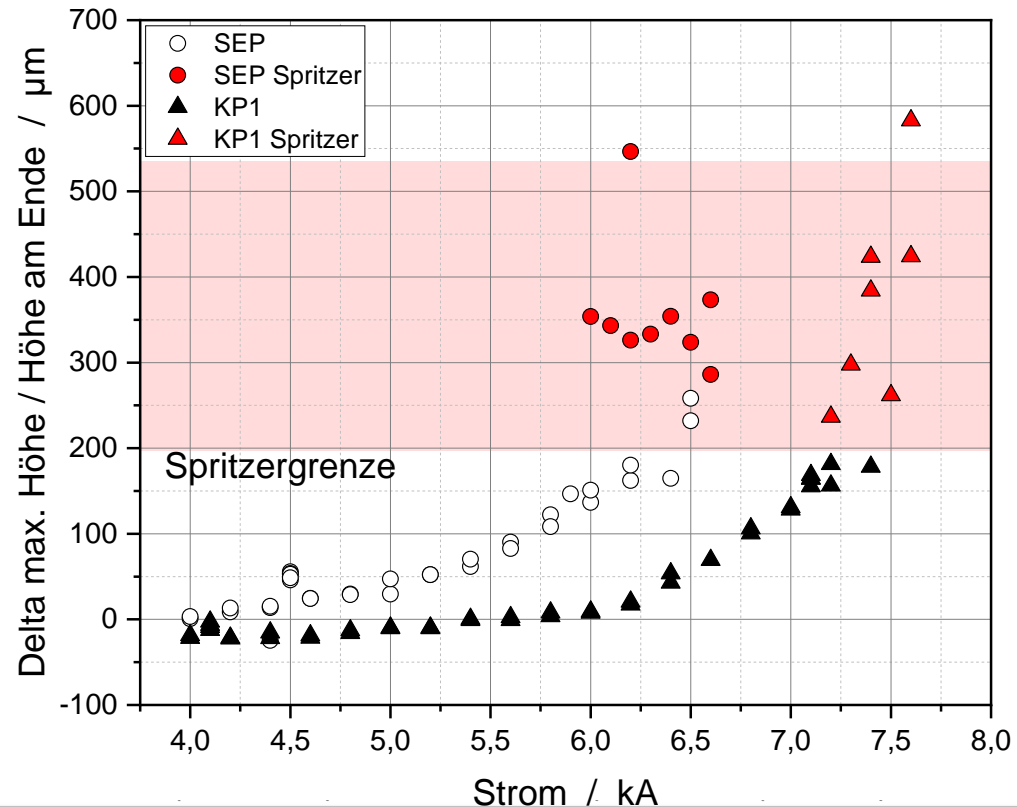


## Überprüfung des Kraftprofils mit konstanten Elektrodenkräften



# Ergebnisse: Einfluss des Kraftprofils auf den Scherzugkraft

| Schweißparameter<br><i>In Anlehnung an SEP 1220-2</i> |        |
|---|--------|
| Impulszahl  | 1      |
| Vorhaltezeit  | 200 ms |
| Schweißzeit   | 380 ms |
| Nachhaltezeit   | 300 ms |
| Elektrodenkraft                                       |        |
| Kraftprofil (Ø 3,1 kN)                                |        |
| 3,1 kN Konstant                                       |        |
| 4,5 kN Konstant (SEP)                                 |        |
| Werkstoff   |        |
| 22MnB5+AS150 (t=1,5 mm)                               |        |
| Ofentemperatur 900 ° C                                |        |
| Schweißanlage   |        |
| NIMAK - MFDC 1000 Hz                                  |        |
| Elektroden  |        |
| B0-16-20-8-50-6,0 [CuCr1Zr]                           |        |



Durch die Anwendung des Kraftprofils wird:

- der Schweißbereich vergrößert und der Schweißprozess stabilisiert;
- der Linsendurchmesser bei  $I_{\max}$  vergrößert und die Streuung reduziert;
- die ertragbare Scherzugkraft aufgrund der vergrößerten Linse gesteigert



# Gliederung

1.

Einführung:

- Motivation
- Zielsetzung

2.

Ausgangszustand:

- Prozessmodell
- Prozessdaten

3.

Ergebnisse:

- Konzeption des Kraftprofiles
- Kraftprofil vs. konstanter Elektrodenkraft

4.

Zusammenfassung und Ausblick



# Zusammenfassung und Ausblick

## **Zusammenfassung:**

Anwendung des Kraftprofiles führte:

- zur signifikanten Vergrößerung des Schweißbereiches und der max. Scherzugkraft.

## **Durch die Kennwerteanalyse ist es möglich:**

- analytisch ein Kraftprofil aufzustellen,
- genaue Spritzervorhersagen zu treffen,
- gezielte Optimierung von vorhandenen Schweißparametern durchzuführen,
- Beschreibung der Punktentwicklung durch den Verlauf der Elektrodenbewegung und der Teilwiderstände.

## **Ausblick:**

- Ursachenfindung für die Spritzerabhängigkeit von der Einsinktiefe
- Übertragbarkeit auf andere Werkstoffe und Blechkombinationen
- Potential für die Anwendung in der Industrie (Reglerkonzeption / Machine Learning)

***Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!***



**Kontaktdaten**



**Forschung-Sachsen-Anhalt**



## Teil 1

**DVS – Deutscher Verband für Schweißen (Hg.) (2017):** DVS-Technikreport 2017. Organisation und Schwerpunktthemen der Abteilung „Forschung und Technik“ im DVS. DVS – Deutscher Verband für Schweißen. Düsseldorf: DVS Media GmbH.

**Merkblatt DVS 2915-2, 1978-02:** Gütesicherung beim Punkt-, Buckel- und Rollennahtschweißen Einsatz von Prozeßkontroleinrichtungen.

**Janota, M.; Kuban, J. (1977):** Systém automatického riadenia bodového odporového zvarania VÚZ - Autozet. In: zvarania 26, S. 89–92.

**Kuban, J.; Stefanek, A.; Dzuranyi, E. (1989):** Control and inspection systems for resistance welding. In: Welding International 3 (11), S. 1003–1006.

**SEP 1220-2, 2011-08:** Prüf- und Dokumentationsrichtlinie für die Fügeignung von Feinblechen aus Stahl - Teil 2: Widerstandspunktschweißen.

**Quanz, A. (1995):** Prozeßanalyse beim Widerstandspunktschweißen beidseitig feuerverzinkter Stahlbleche. Zugl.: Berlin, Techn. Univ., Diss., 1994. Als Ms. gedr. Düsseldorf: VDI-Verl. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 2, Fertigungstechnik, 344).

## Teil 2

**Taylor, J. L.; Xie, P. (1987):** A new approach to the displacement monitor in resistance spot welding of mild steel sheet. In: Metal Construction (2), S. 72–75.

**EN ISO 18278-2, 2016-09:** Teil 2: Verfahren zum Bewerten der Eignung für das Widerstandspunktschweißen.

**Zhou, K.; Cai, L. (2014):** On the development of nugget growth model for resistance spot welding. In: Journal of Applied Physics 115 (16), S. 164901. DOI: 10.1063/1.4872247.

**Holtschke, S. N.; Jüttner, S.:** Assistentenseminar: Untersuchungen zum Schweißbereich beim Widerstandspunktschweißen von 22MnB5. Präsentation 06. September 2016

**Altan, T.: R&D Update: Hot-stamping boron-alloyed steels for automotive parts - Part II.** In: <http://www.thefabricator.com/article/stamping/hot-stamping-boron-alloyed-steels-for-automotive-parts---part-ii> (Stand 30.11.2016).

**Waller, D. N.; Knowlson, P. M.:** Electrode separation applied to quality control in resistance welding. Welding Journal 12(4):168-s to 1 74-s. Welding Journal, 12 (4), 1965, S. 168–74.

**Ighodaro, O. L.-R.; Biro, E.; Zhou, Y. N.:** Study and Applications of Dynamic Resistance Profiles During Resistance Spot Welding of Coated Hot-Stamping Steels. Metallurgical and Materials Transactions A, 48 (2), 2017, S. 745–58.