

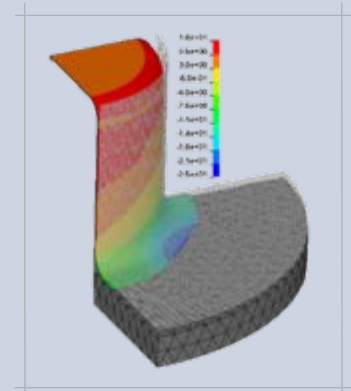


# Erfahrungen mit der Hybridvernetzung „Dummy Shell Methode“ zur Modellierung elastischer Maschinen- und Werkzeug- einflüsse auf den Blechumformprozess

Bearbeiter Dipl.-Ing. S. Kriechenbauer (TU Dresden)

## Gliederung

- Umformsimulation mit LS-Dyna
- Anwendung der Hybridvernetzung
- Reverse Engineering mit Hybridvernetzung
- Zusammenfassung



Dresden, 29.10.2010

## Einsatzgebiete der Umformsimulation

### Projektierung

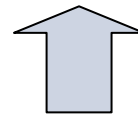
Prozessverständnis  
Variantenvergleich  
Produktionsplanung  
Kostenabschätzung  
Kennzahlermittlung

### Entwicklung

Objektivierung  
Konzeptionierung  
Prozessabsicherung  
Optimierung

### Produktion

Prozessoptimierung  
Änderungsvorgänge



**Einflüsse aus Werkstück,  
Werkzeug und Maschine  
auf den Blechumform-  
prozess**

# Anforderungen an die Umformsimulation

## Stand der Technik

### Platine und Werkstoff

- einf. Wst.-modelle

### Wirkfuge Platine-WZ

- konst. Reibzahl

### Werkzeuge

- starre RB
- starre Wirkflächen

### Maschine

- starre RB
- quasistat. Stößelweg

### Zieheinrichtung

- starre ZK-Lagerung
- konst. NH-Kraft
- quasistat. NH-Weg

## Realität

**Veränderlich**

**WZ-Verlagerung  
WZ-Verformung**

**St-Verlagerung  
Hubzahl, Kinematik**

**NH-Verlagerung  
Druckverteilung  
Geschw.-verlauf**

## Stand der Forschung

### Werkzeuge

- elast. Lagerung
- elast. Körper

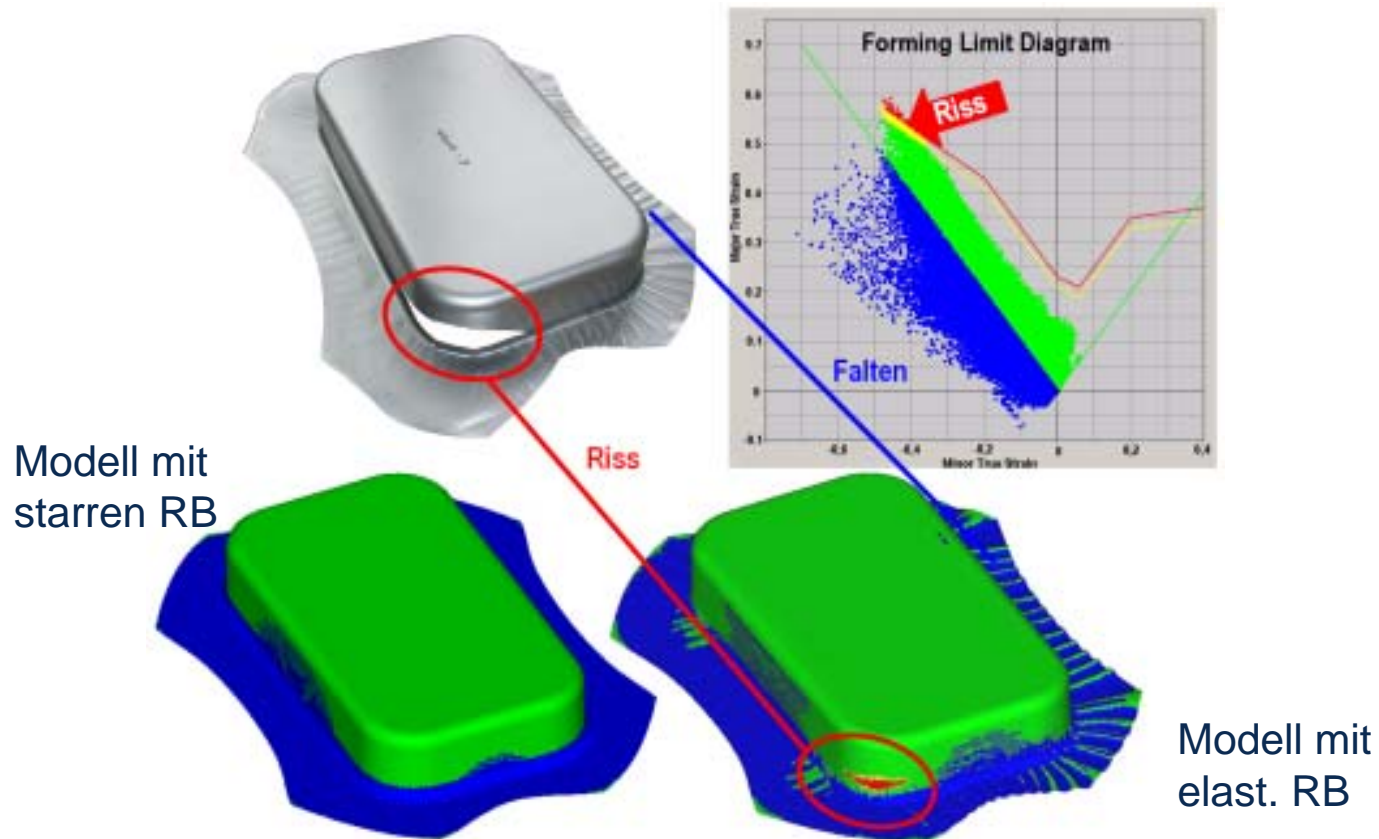
### Maschine

- elast. Stößellagerung
- reale Geschw.-verläufe

### Zieheinrichtung

- elast. ZK-Lagerung
- örtl. u. zeitl. NH-Kraftvert.
- NH-Weg-Zeit-Verlauf

## Vergleich zw. herkömmlicher und erw. Umformsimulation

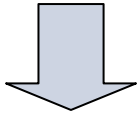


## Modellumfang je nach Einsatzgebiet

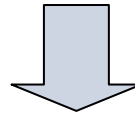
**Projektierung**

**Entwicklung**

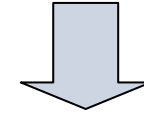
**Produktion**



einfache Modelle mit  
vielen Annahmen



möglichst genaue (vollst.)  
und konkretisierte Modelle  
notwendig



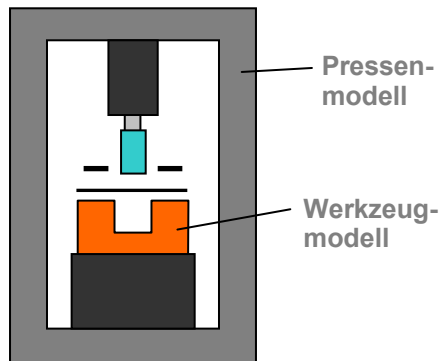
angewandte und  
validierte Modelle



**Wirtschaftlichkeit**

# Reduktionsmöglichkeiten von Umformmodellen

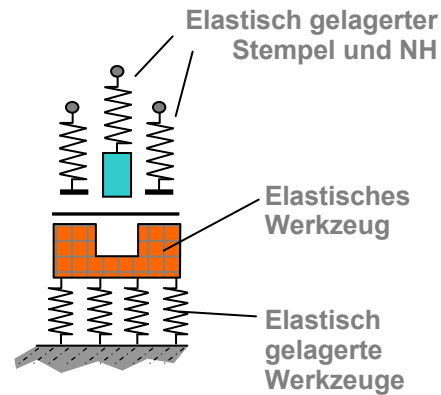
## Vollständiges Modell



### Diskretisierungsverfahren

FEM, EFG, BEM, MKS

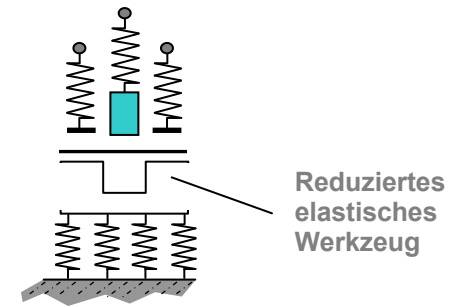
## Reduziertes Modell



### Randbedingungen

Ersatzfedern  
(transl., rot., nichtlinear, ...)

## Red. Werkzeugmodell

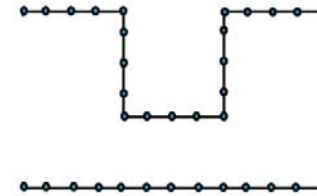
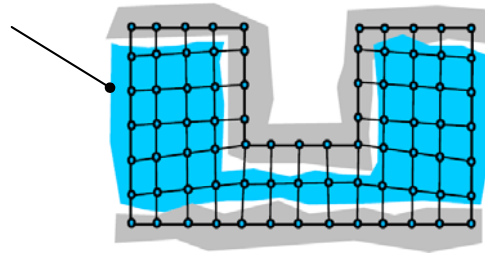


### Modellreduktion des WZ

Kondensiert / Superelement  
Flexible Rigid Bodies  
**Hybridvernetzung**

## Kondensation mit Superelementen

statische Kondensation  
des elast. WZ-Körpers



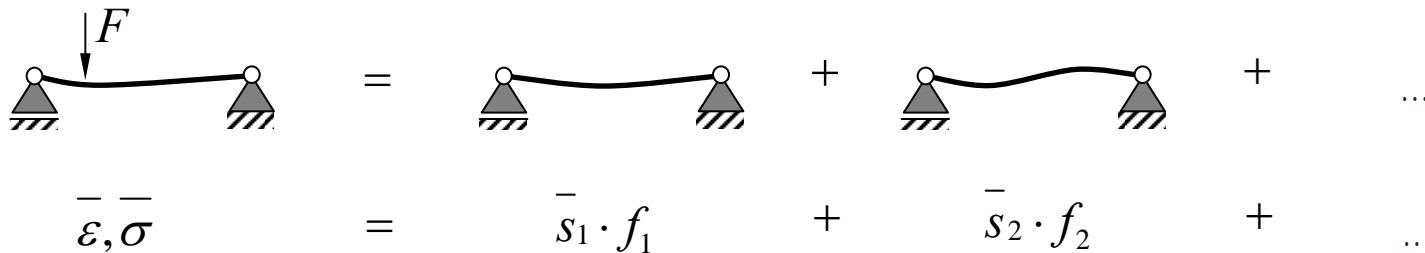
Kontaktfläche als  
Superelement

+ in LS-Dyna® R4.2.1 implementiert `*ELEMENT_DIRECT_MATRIX_INPUT`

- **große Datenmengen** bereits bei kleinen Modellen
- keine effektive Rechenzeitverkürzung

Haufe, A. et al.: *Sheet Metal Forming Simulation with elastic Tools in LS-Dyna*. Numisheet 2008. Interlaken. Switzerland.

## Zerlegung in Eigenformen



$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{Beam with force } F & = & \text{Mode 1} & + & \text{Mode 2} & + & \dots \\
 \underline{\underline{\varepsilon, \sigma}} & = & \underline{\underline{s_1 \cdot f_1}} & + & \underline{\underline{s_2 \cdot f_2}} & + & \dots
 \end{array}$$

+ in LS-Dyna® R4.2.1 implementiert \*PART\_MODES

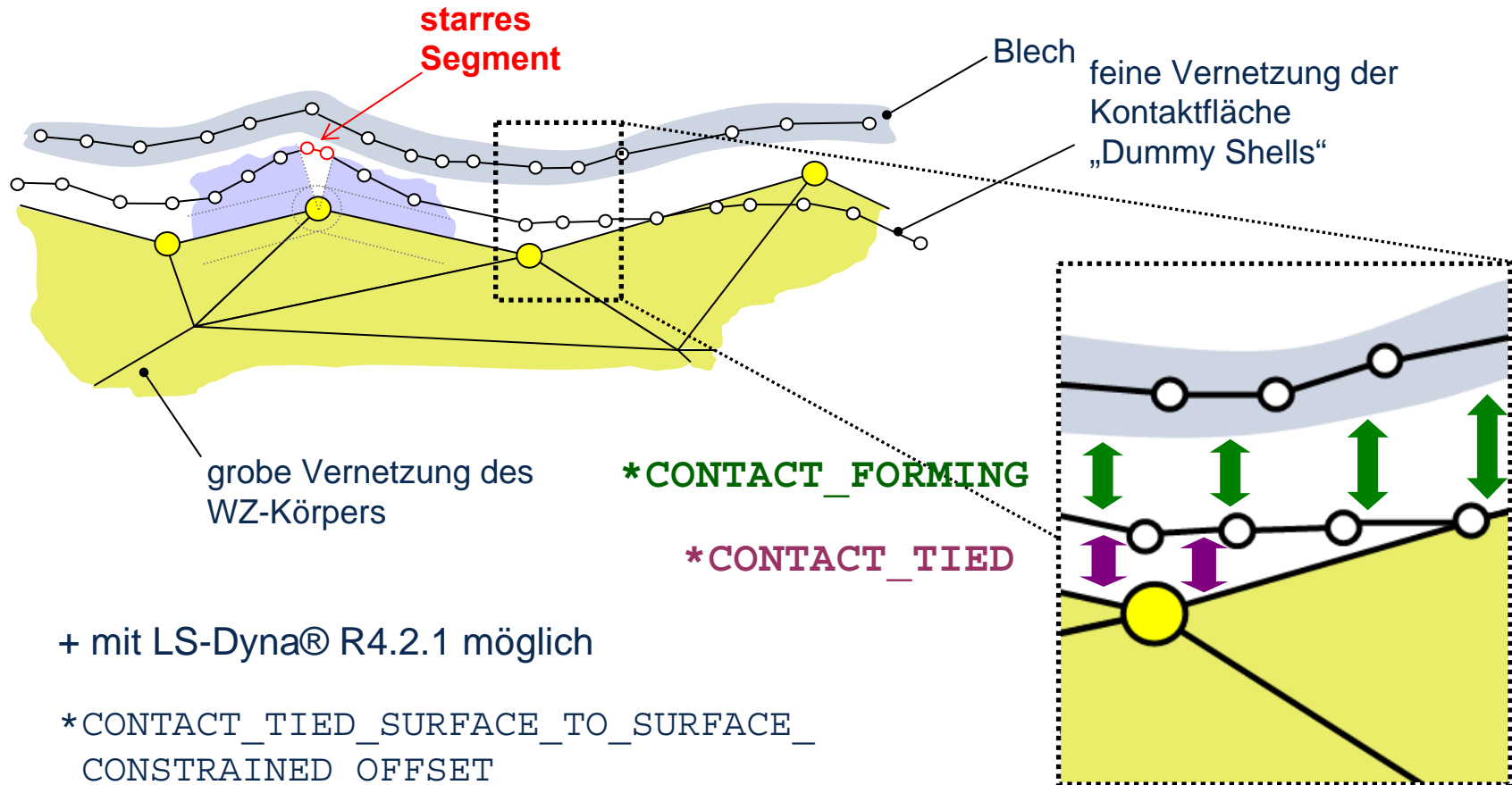
+ geringe Anforderung an Speicher

- Eigenwertanalyse notwendig
- **in jedem Zeitschritt** ist die **Superposition der Schwingformen** erneut durchzuführen
- **Frequenzband bestimmt Genauigkeit** bei der Berechnung bei lokalen Deformationen



## Hybridvernetzung von Umformwerkzeugen

### Kombination unterschiedlicher FE-Netze



+ mit LS-Dyna® R4.2.1 möglich

\*CONTACT\_TIED\_SURFACE\_TO\_SURFACE\_  
CONSTRAINED\_OFFSET

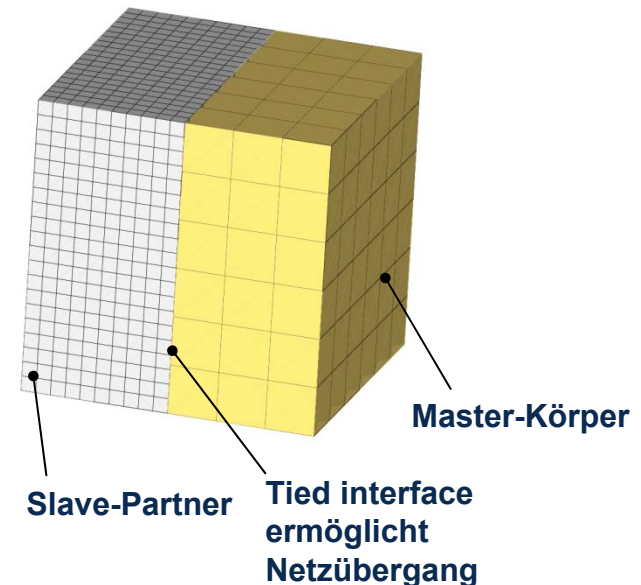
Haufe, A. et al.: *Sheet Metal Forming Simulation with elastic Tools in LS-Dyna*. Numisheet 2008. Interlaken. Switzerland.

## Hybridvernetzung von Umformwerkzeugen

- + Kontaktmodellierung mit Schalen ist Stand der Technik
- + elast. Durchbiegung wird ausreichend genau abgebildet
- + **einf. Änderung oder Austausch der Kontaktfläche** möglich
- + Rechenzeitverkürzung, Dummy Shell haben **keinen Einfluss auf expliziten Zeitschritt**
  
- höherer Modellierungsaufwand
- Methode funktioniert **nur mit der MPP-Version** von LS-Dyna®

## Kontaktmodell \*CONTACT\_TIED

- Realisierung eines nichtkonsistenten Netzüberganges verringert den Aufwand bei der Modellerstellung
- LS-Dyna® bietet Übergang mit Transformation der **transl. DOF von Flächen auf Flächen**  
transl. DOF von Knoten auf Flächen  
transl. und rot. DOF von Knoten
- Abbildung von Delaminationsvorgängen möglich
- Slave-Knoten werden mit Zwangsbedingungen an die Master-Segmente gebunden
- Slave-/Master-Knoten dürfen keine anderen Zwangsbed. besitzen



## Kontaktalgorithmus \*CONTACT\_TIED

- Zu Beginn wird ein interpolierter Kontaktknoten  $(\xi_c, \eta_c)$  berechnet
- Zu jedem Zeitschritt werden die Knotenkräfte/-masse des Slave-Partners auf die Master-Knoten verteilt

$$\Delta f_m^i = \phi_i(\xi_c, \eta_c) f_s$$

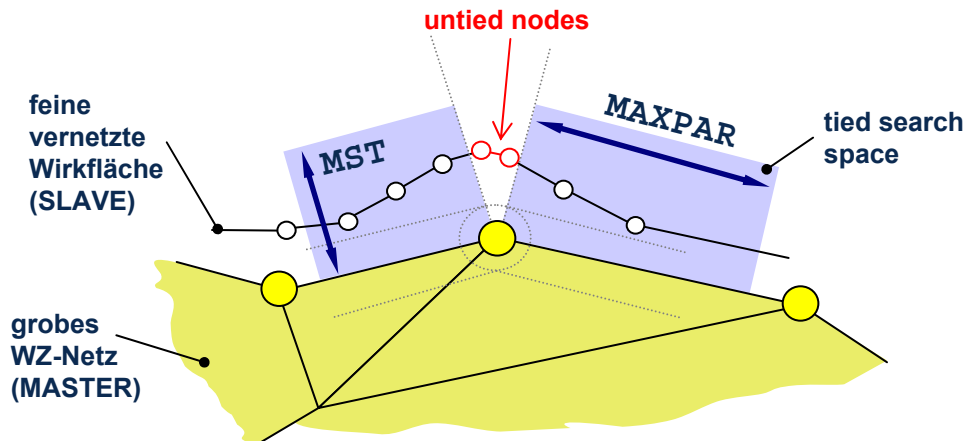
- Danach wird die Beschleunigung am Master-Segmentes berechnet und auf die Slave-Knoten interpoliert

$$a_{i_s} = \sum_{j=1}^4 \phi_j(\xi_c, \eta_c) a_i^j$$

# LS-Dyna® Keyword **\*CONTACT\_TIED**

## **\*CONTACT\_TIED\_SURFACE\_TO\_SURFACE\_CONSTRAINED\_OFFSET\_ID**

\$#	cid	title						
	1							
\$#	ssid	msid	sstyp	mstyp	sboxid	mboxid	spr	mpr
	1	2	3	0				
\$#	fs	fd	dc	vc	vdc	penchk	bt	dt
					20			
\$#	sfs	sfm	sst	mst	sfst	sfmt	fsf	vsf
				-5				
\$#	soft	sofscl	lcidab	maxpar	sbopt	depth	bsort	frcfrq
				1.2				
\$#	penmax	thkopt	shlthk	snlog	isym	i2d3d	sldthk	sldstf
\$#	igap	ignore	dprfac	dtstif	unused	unused	flangl	



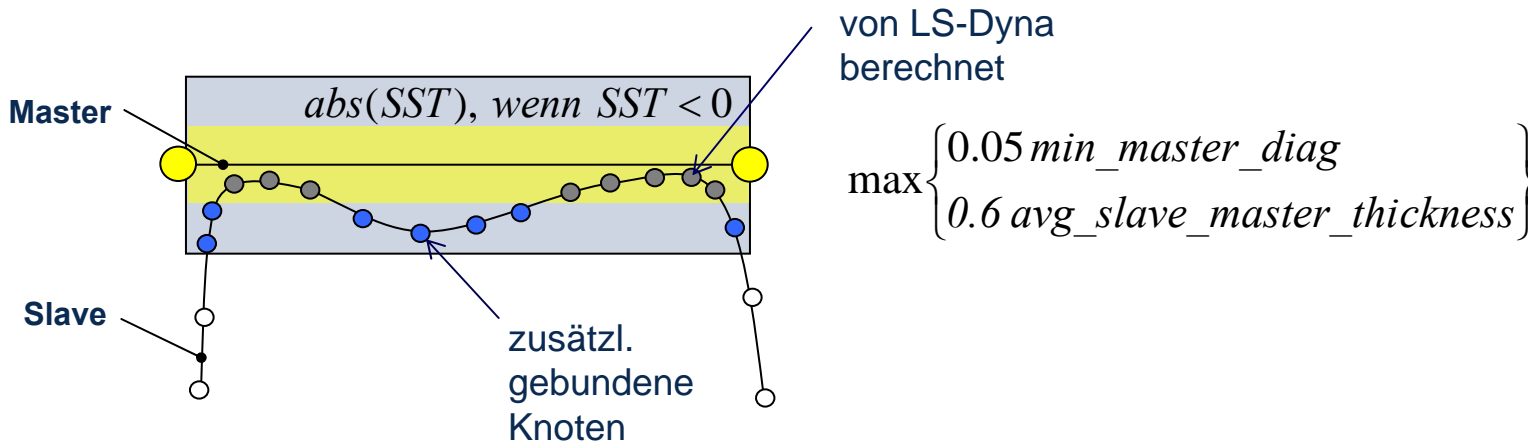
**MST** und **MAXPAR** sind abhängig von den Netzgrößen

- ▶ **MST** umso größer je größer WZ-Netz, Solver warnt vor „leeren“ Mastersegmenten

# LS-Dyna® Keyword \*CONTACT\_TIED

## \*CONTACT\_TIED\_SURFACE\_TO\_SURFACE\_CONSTRAINED\_OFFSET\_ID

\$#	cid	title						
	1							
\$#	ssid	msid	sstyp	mstyp	sboxid	mboxid	spr	mpr
	1	2	3	0				
\$#	fs	fd	dc	vc	vdc	penchk	bt	dt
					20			
\$#	sfs	sfm	sst	mst	sfst	sfmt	fsf	vsf
			-1	-5				
\$#	soft	sofscl	lcidab	maxpar	sbopt	depth	bsort	frcfrq
				1.2				
\$#	penmax	thkopt	shlthk	snlog	isym	i2d3d	sldthk	sldstf
\$#	igap	ignore	dprfac	dtstif	unused	unused	flangl	

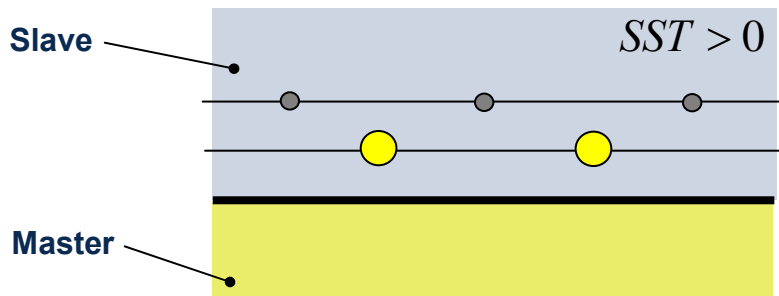


## LS-Dyna® Keyword \*CONTACT\_TIED

### \*CONTACT\_TIED\_SURFACE\_TO\_SURFACE\_CONSTRAINED\_OFFSET\_ID

```

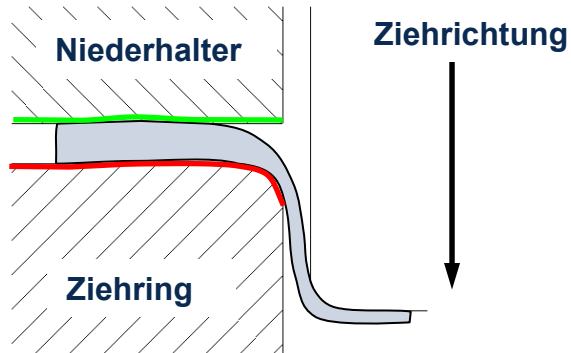
$#      cid                                     title
      1
$#      ssid      msid      sstyp      mstyp      sboxid      mboxid      spr      mpr
      1          2          3          0
$#      fs          fd          dc          vc          vdc          penchk          bt          dt
                                     20
$#      sfs          sfm          sst          mst          sfst          sfmt          fsf          vsf
                                     1          -5
$#      soft      sofscl      lcidab      maxpar      sbopt          depth          bsort          frcfrq
                                     1.2
$#      penmax      thkopt      shlthk      snlog          isym          i2d3d          sldthk          sldstf
$#      igap          ignore      dprfac      dtstif      unused          unused          flangl
    
```



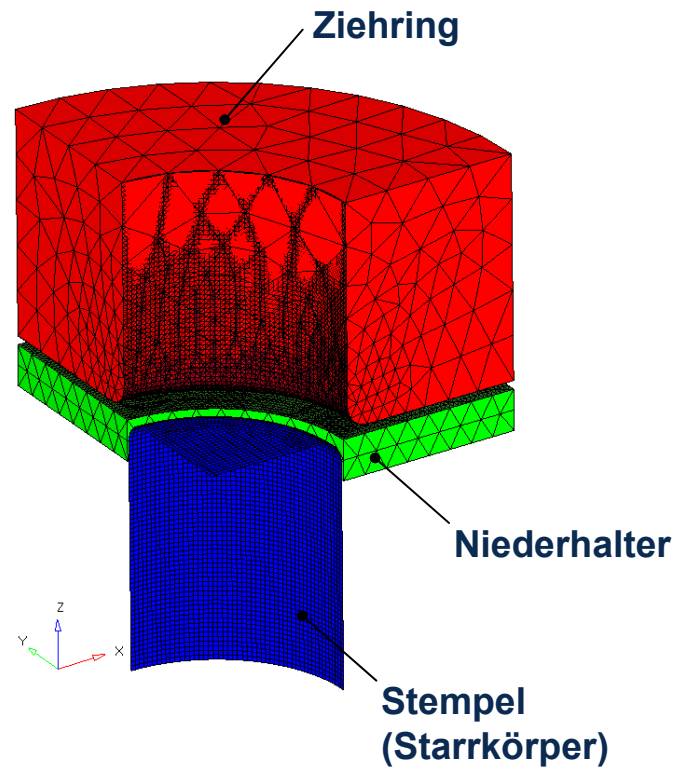
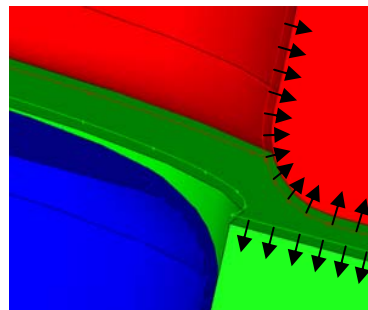
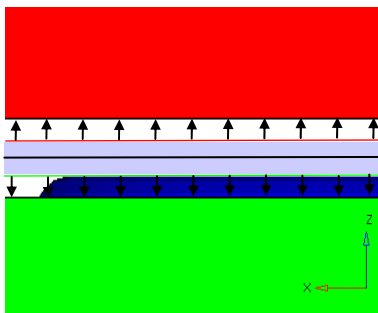
Offsetierung mit **SST** erforderlich, da Dummy Shells eine Dicke besitzen

▷ globale Angabe, d.h. **Dickenveränderungen** werden im Kontakt nicht mehr berücksichtigt, in der **Blechumformung** jedoch **notwendig**

## Hybridvernetzung am Napfwerkzeug



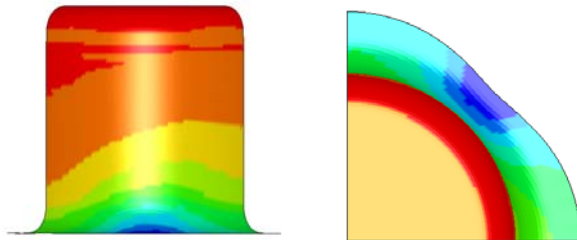
- Damit Blechdickenänderung im Kontakt berücksichtigt werden kann, werden Wirkflächen um die halbe Schalendicke offsetiert.





## Simulationsergebnisse für das Napfwerkzeug

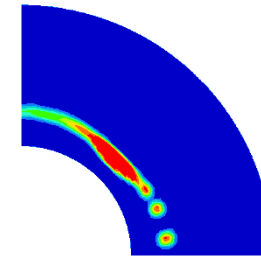
**Blechdickenreduktion in %**



**Starrkörpermodell**

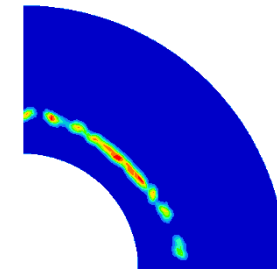
12 000 Elemente  
1,2h CPU Time

**Normalkontaktdruck in GPa**

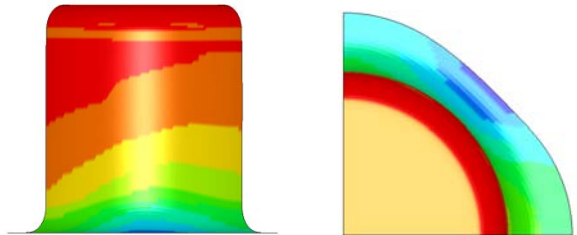


**Hybridvernetzung**

27 000 Elemente  
1,4h CPU Time

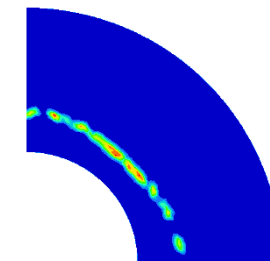


1.00e+01  
6.50e+00  
3.00e+00  
-5.00e-01  
-4.00e+00  
-7.50e+00  
-1.10e+01  
-1.45e+01  
-1.80e+01  
-2.15e+01  
-2.50e+01



**Feine Vernetzung**

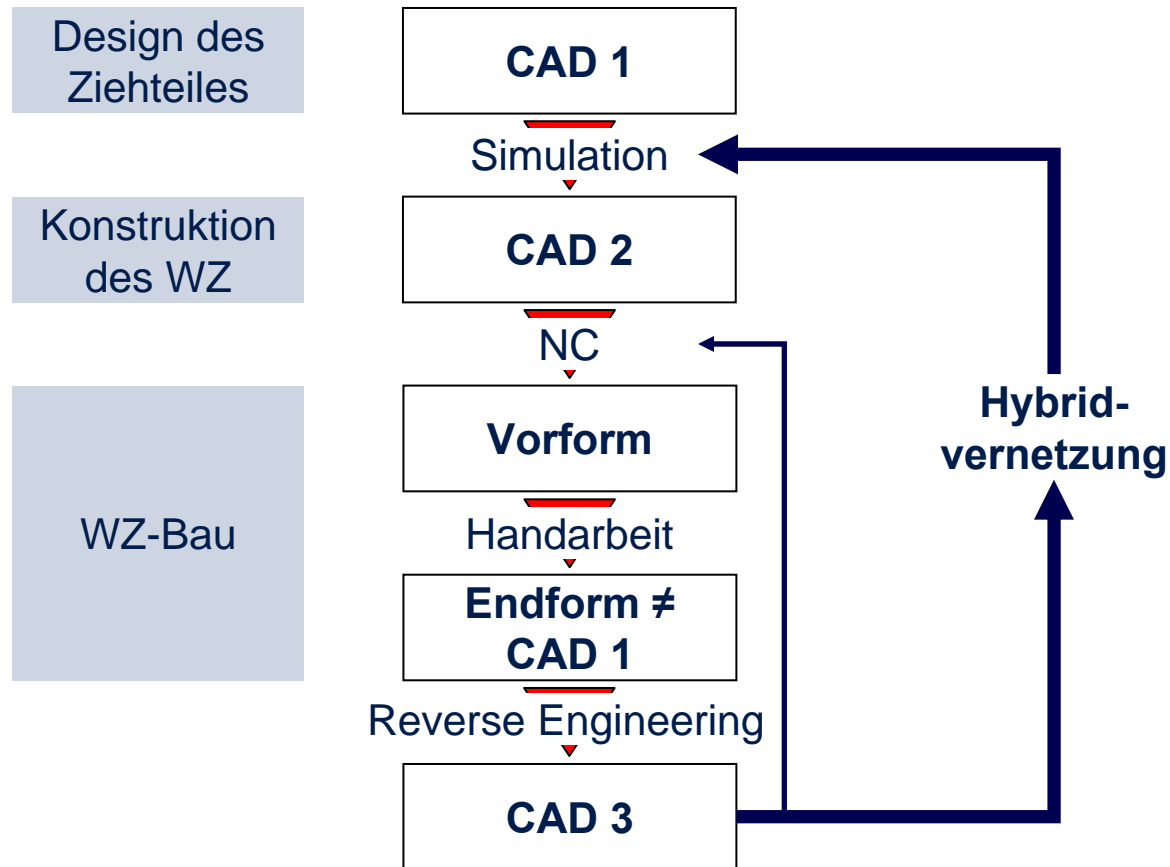
261 000 Elemente  
2,9h CPU Time



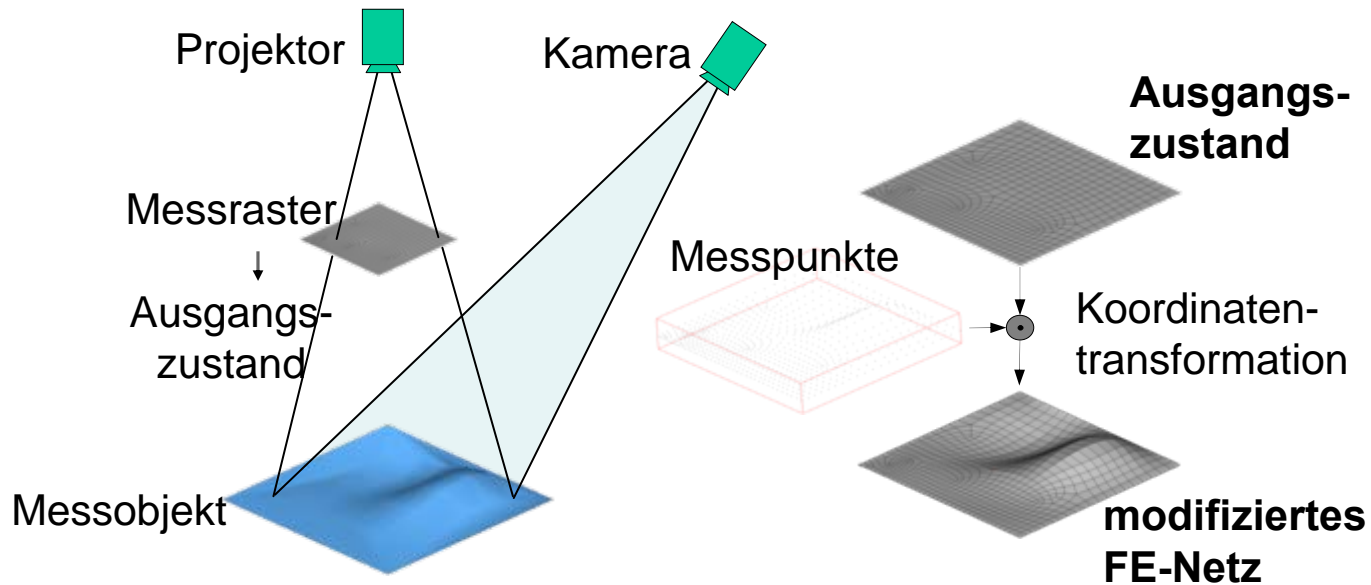
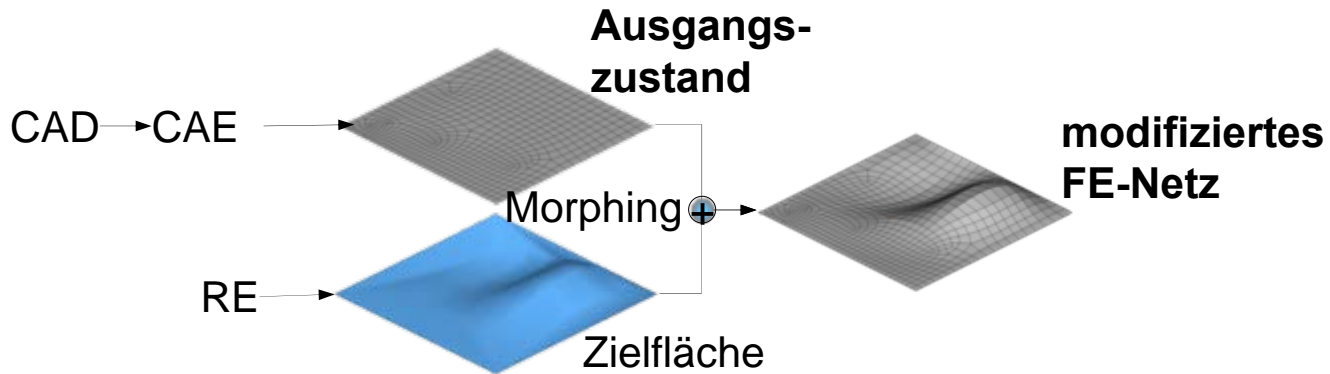
1.0E-02  
8.8E-03  
7.7E-03  
6.6E-03  
5.5E-03  
4.4E-03  
3.3E-03  
2.2E-03  
1.1E-03  
0.0E+00

► **Fazit** Hybridvernetzung liefert gute Ergebnisse, daher Einführung in die CAE-Kette

## Einführung der Hybridvernetzung in die CAE-Kette

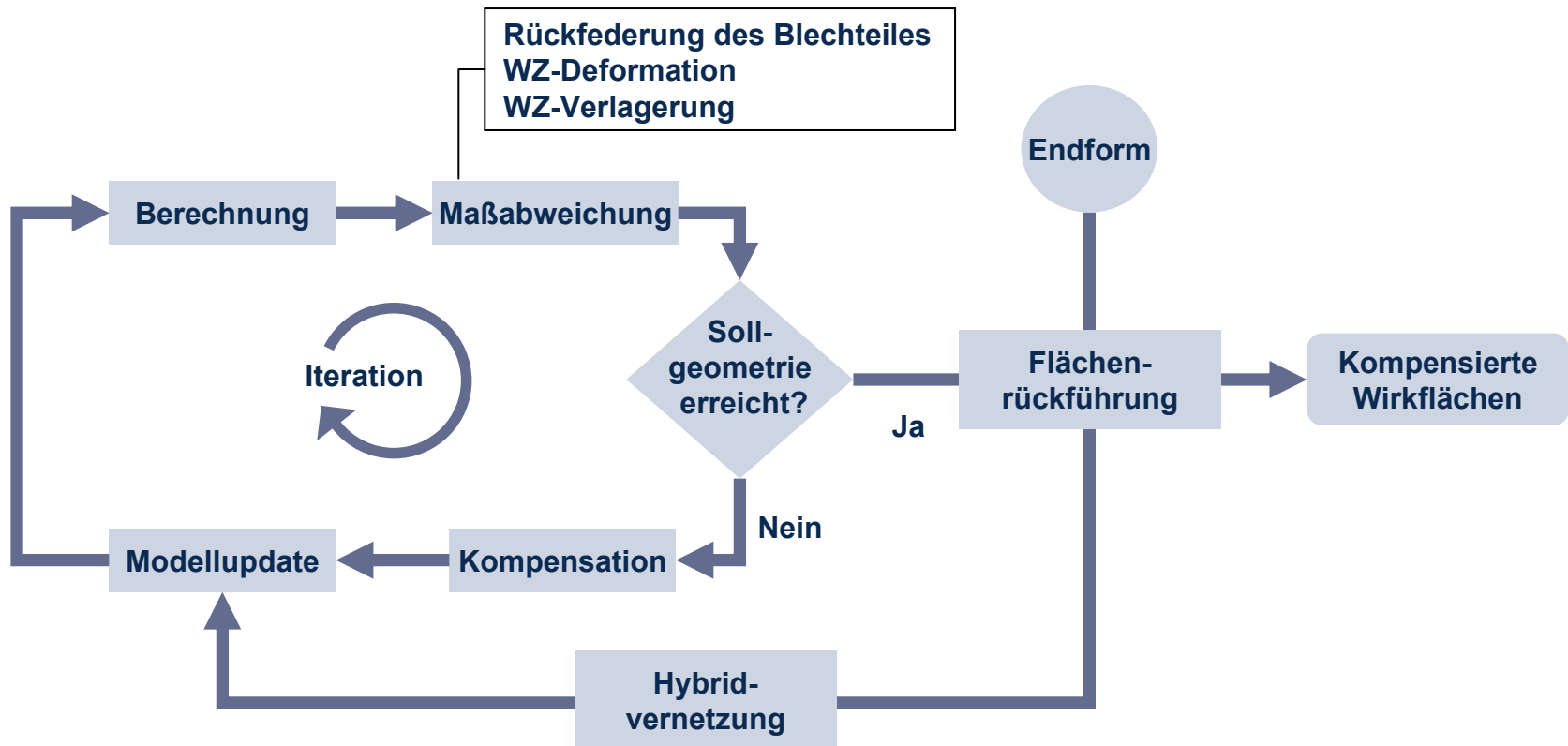


# Neue Möglichkeiten im Reverse Engineering



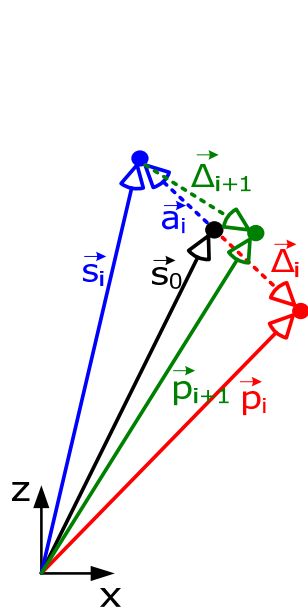
## Gestaltoptimierung der WZ-Wirkflächen mit Reverse Engineering

**Ziel** Reduzierung der Abweichungen zwischen Sollgeometrie und rückgefederter Geometrie durch Anpassung der WZ-Wirkflächen

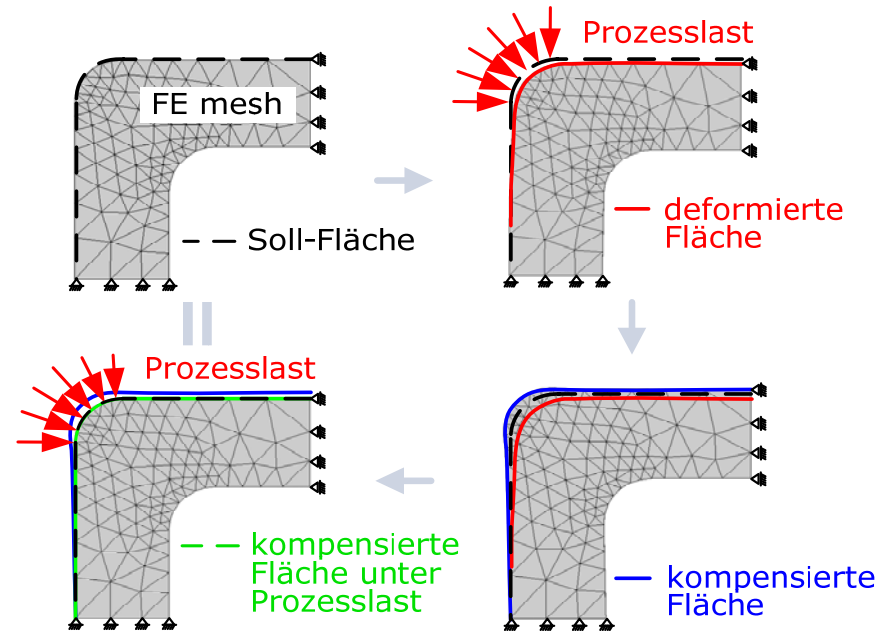


# Kompensationsalgorithmus bei Hybridvernetzung

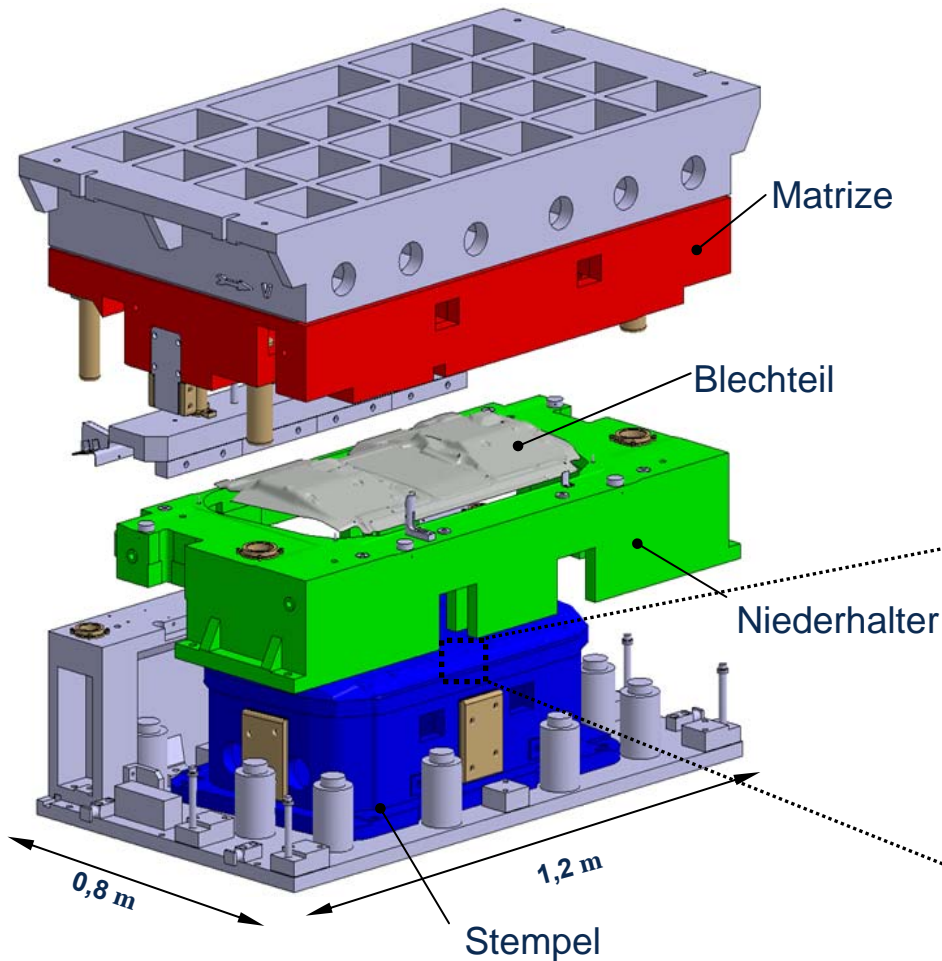
## Anpassung der Wirkflächen durch gezielte Knotenverschiebung



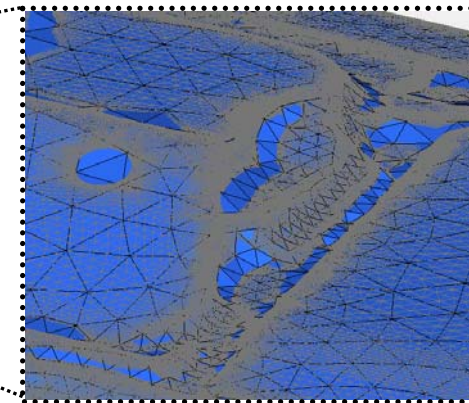
- $i$  Iterationsschritt
- $\vec{s}_0$  Knoten auf Soll-Geometrie
- $\vec{\Delta}$  Knotenverschiebung
- $\vec{p}$  Knoten auf deformierter Fläche
- $\vec{a}$  Korrekturvektor
- $\vec{s}$  Knoten auf kompensierter Fläche



## Anwendung der Hybridvernetzung bei Serienwerkzeug



SMG Presse  
Typ HZPU 1000-3000/1800  
Bj. 1996



Hybridvernetzung am Stempel

## Red. vollst. Prozessmodell mit Maschineneinfluss

SMG Presse – Typ HZPU 1000 –  
3000/1800, Bj. 1996

Kippsteifigkeiten aus zulässiger  
Stößelkippung:

$$c_{kA} = \frac{400kNm}{0,17mm/m} = 2350MNm$$

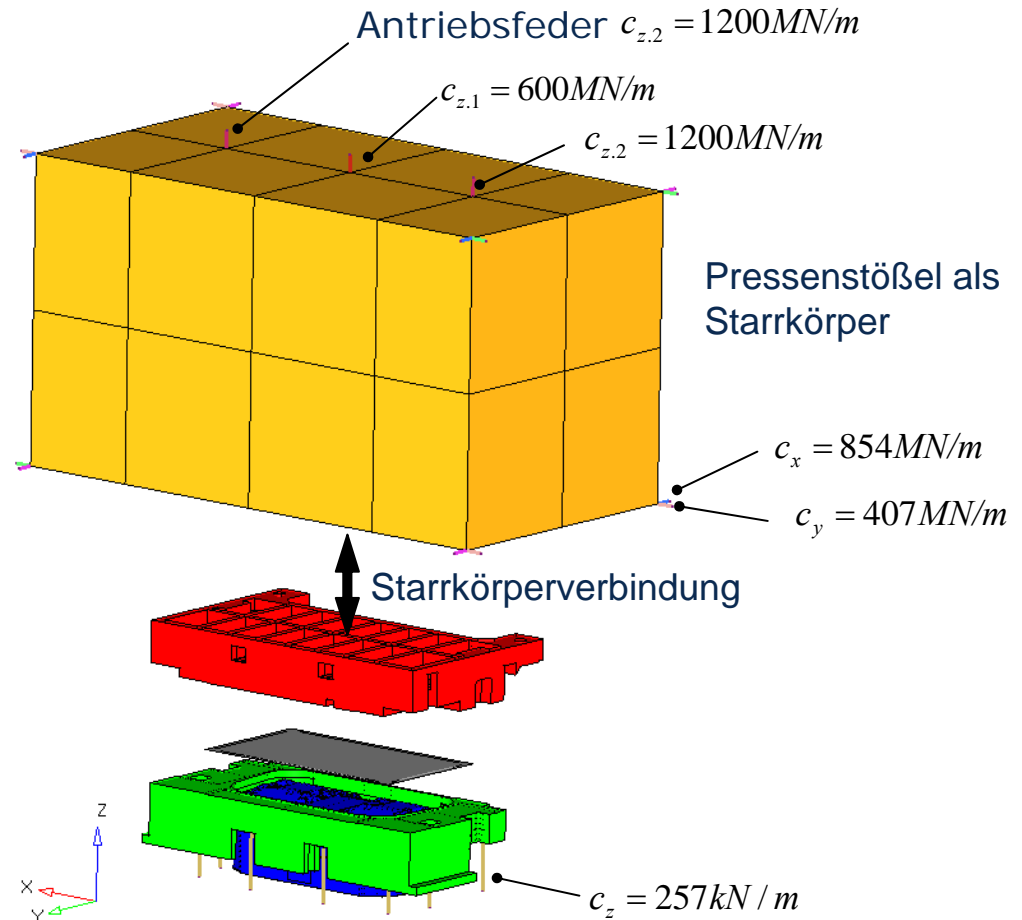
$$c_{kB} = \frac{800kNm}{0,4mm/m} = 2000MNm$$

Verlagerung aus Standardwerten  
nach VDI 3145 für Pressennennkraft

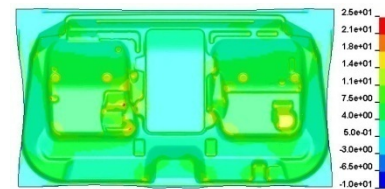
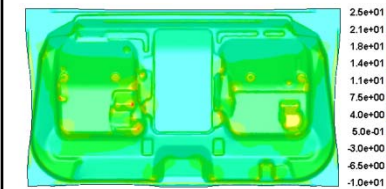
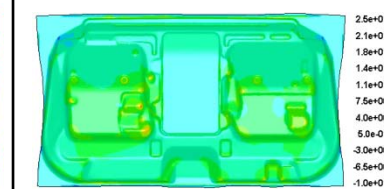
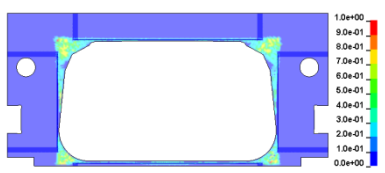
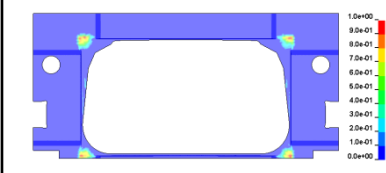
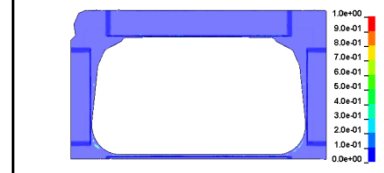

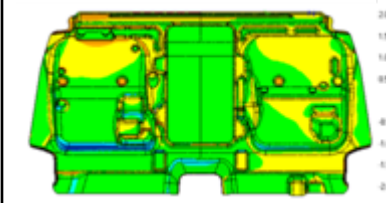
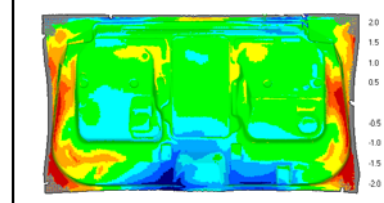
$$F_{nenn} = 10000kN$$

$$c_{gesZ} = 3000MN/m$$

2Mio Elemente  
19,3h CPU Time



# Simulationsergebnisse

	CAD Starrkörpermodell	CAD Volumenmodell mit Maschineneinfluss	Messdatenbasiertes Volumenmodell mit Maschineneinfluss
Reduktion der Blechdicke in %			
Kontaktnormaldruck am NH in GPa			
Abweichung zw. Simulation und Messung in mm			



## Zusammenfassung

- Anwendung und Besonderheiten der Hybridvernetzung mit LS-Dyna® wurden gezeigt
- Hybridvernetzung besitzt großes Potential bei der Umformsimulation von großen Werkzeugstrukturen
- eine realistische Pressungsverteilung kann mit elast. vernetzten Werkzeugen hinreichend genau abgebildet werden
- Hybridvernetzung erweist sich im Reverse Engineering als sehr hilfreich
- In weiteren Arbeiten am Institut für Werkzeugmaschinen ist die Methodik der Flächenrückführung in das FE-System zu verbessern
- Der Kompensationsalgorithmus für hybride Netze ist in einer Software zu verankern



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN

Institut für Werkzeugmaschinen  
und Steuerungstechnik  
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann

