

Abstreckziehen – Grenzen und Möglichkeiten in der aktuellen Modelltechnik

J. Raquet
DYNAmore GmbH

1. Einführung – Stand der Simulationstechnik

- 1.1 Wo sind die aktuellen Grenzen in der Modelltechnik
- 1.2 Einfluss der Streckbiegebeanspruchung bei Schalen- und Volumenelementen
- 1.3 Darstellung der unterschiedlichen Elementansätze

2. Beispiel zum Abstreckziehprozess mit verschiedenen Elementformulierungen

- 2.1 Darstellungen der unterschiedlichen Elementformulierungen anhand des Modells
- 2.2 Welche Einstellungen müssen im Modellaufbau bezüglich des Elementtyps beachtet werden
- 2.3 Wie wirken sich die unterschiedlichen Elementtypen hinsichtlich Ergebnisgrößen / Rechendauer etc. aus

3. Wo führt die Zukunft hin - Ausblick

In der Regel werden in der Umformsimulation Elementformulierungen eingesetzt, die das Deformations- und Versagensverhalten von Blechwerkstoffen mittels der **klassischen Schalentheorie** beschreiben. Die zugrundeliegende Annahme, wie beispielsweise keine Berücksichtigung von Normalspannungen in Schalenquerrichtung, führen zu einer Einschränkung in der Versagensprognose der Bauteile. Dies tritt vor allem bei hohen Streckbiegebeanspruchungen zutage.

Dieser Beitrag soll einen kurzen Einblick in den theoretischen Hintergrund der bisher üblichen Schalenmodelle geben, verschiedene neue Ansätze darstellen und eine mögliche Lösung aufzeigen, um die Versagensvorhersage bei stark streckbiegebeanspruchten Bauteilen in der Simulation zu verbessern.

In der Regel wird die Umformbarkeit eines Werkstoffes auf Grundlage des Grenzformänderungsdiagramms charakterisiert, welches auf der **Annahme eines ebenen Spannungszustandes** basiert.

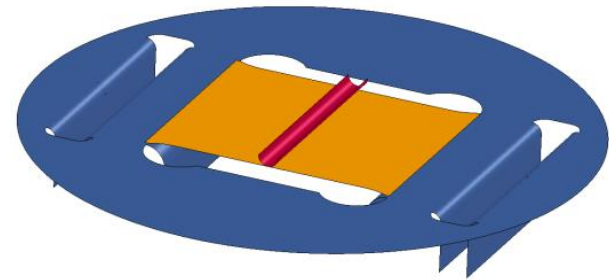
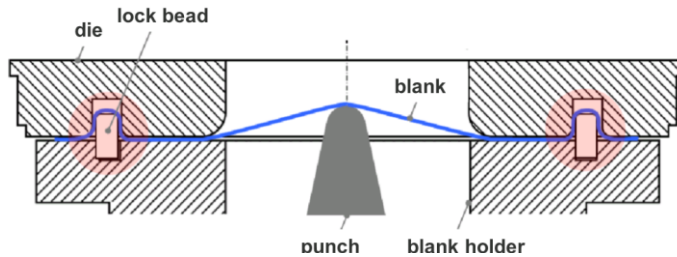
Bei den immer häufiger verwendeten hoch- und höchstfesten Stählen zeigt sich, dass die der Zugbeanspruchung überlagerten Biegeanteile einen erheblichen Effekt auf die Grenze der Umformbarkeit haben.

Aus dieser Querbelastung des Blechwerkstoffes ergeben sich hohe **dreiaxiale Spannungszustände**, welche die lokale Umformbarkeit des Werkstoffes beeinflussen.

Diese werden bisher in der Simulation mit Schalenelementen nicht berücksichtigt.

1.2

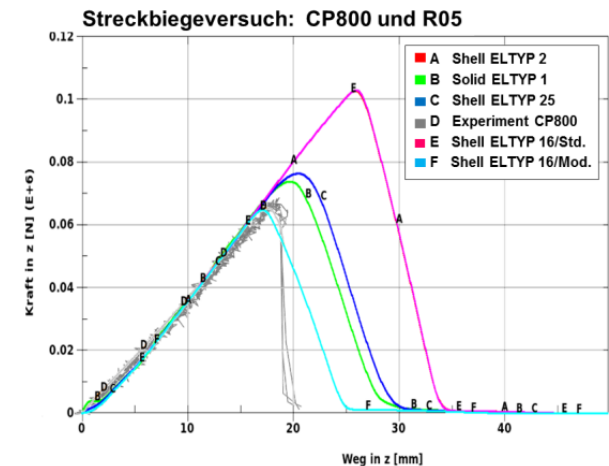
Einfluß der Streckbiegebeanspruchung



Der Einfluss der Streckbiegebeanspruchung wurde systematisch an Versuchsaufbauten untersucht, wobei beidseitig eingespannte, rechtwinklige Blechstreifen über Ziehstäbe parallel zur Blechnormalen bis zum Versagen belastet wurden.

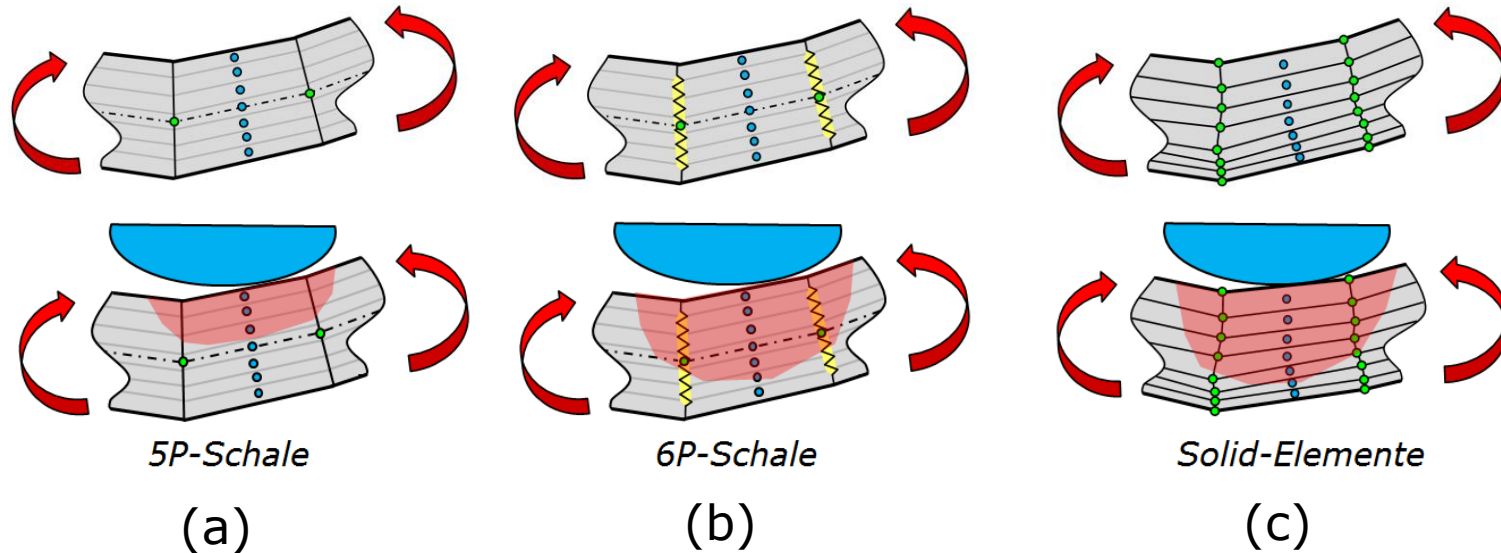
Zur Untersuchung wurden folgende Elementtypen verwendet:

- klassische Schalenelemente, unter der Annahme vernachlässigbarer Spannungen in Dickenrichtung (**5-Parameter Schale**)
- klassische Schalen mit einem Freiheitsgrad für die Belastung in Querrichtung (**6-Parameter Schale**) und
- **Volumenelemente**, die den dreidimensionalen Spannungszustand infolge des Kontaktdruckes berücksichtigen



1.3

Verschiedene Elementansätze



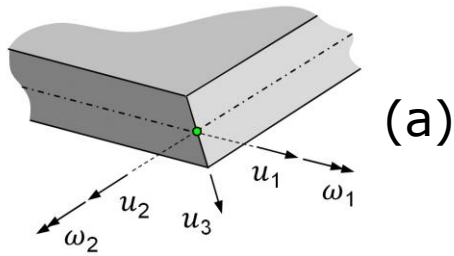
Platinendiskretisierung:

(a) 5-Parameter u. **(b)** 6-Parameter Schalenelemente **(c)** Solidelemente hier exemplarisch dargestellt mit jeweils 7 Integrationspunkten in Dickenrichtung

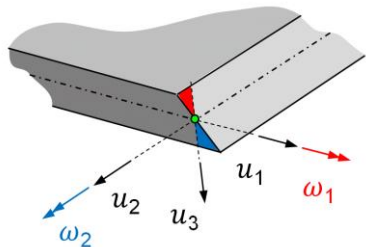
Zu sehen ist hier der Effekt der Querbelastung auf mögliche Zonen der Plastifizierung. Die 5P-Schalen sind nicht in der Lage den Querdruck abzubilden und unterschätzen somit in der Regel Größe und Betrag der Plastifizierung.

1.3

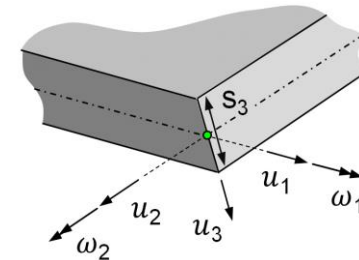
Verschiedene Elementansätze



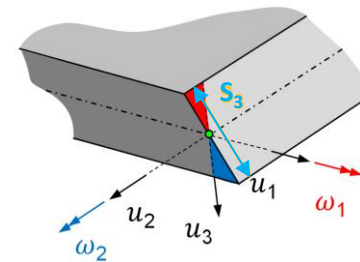
(a)



(b)



(c)



(d)

Definition der Freiheitsgrade einer **5-Parameter** Reissner-Mindlin-Schalenformulierung

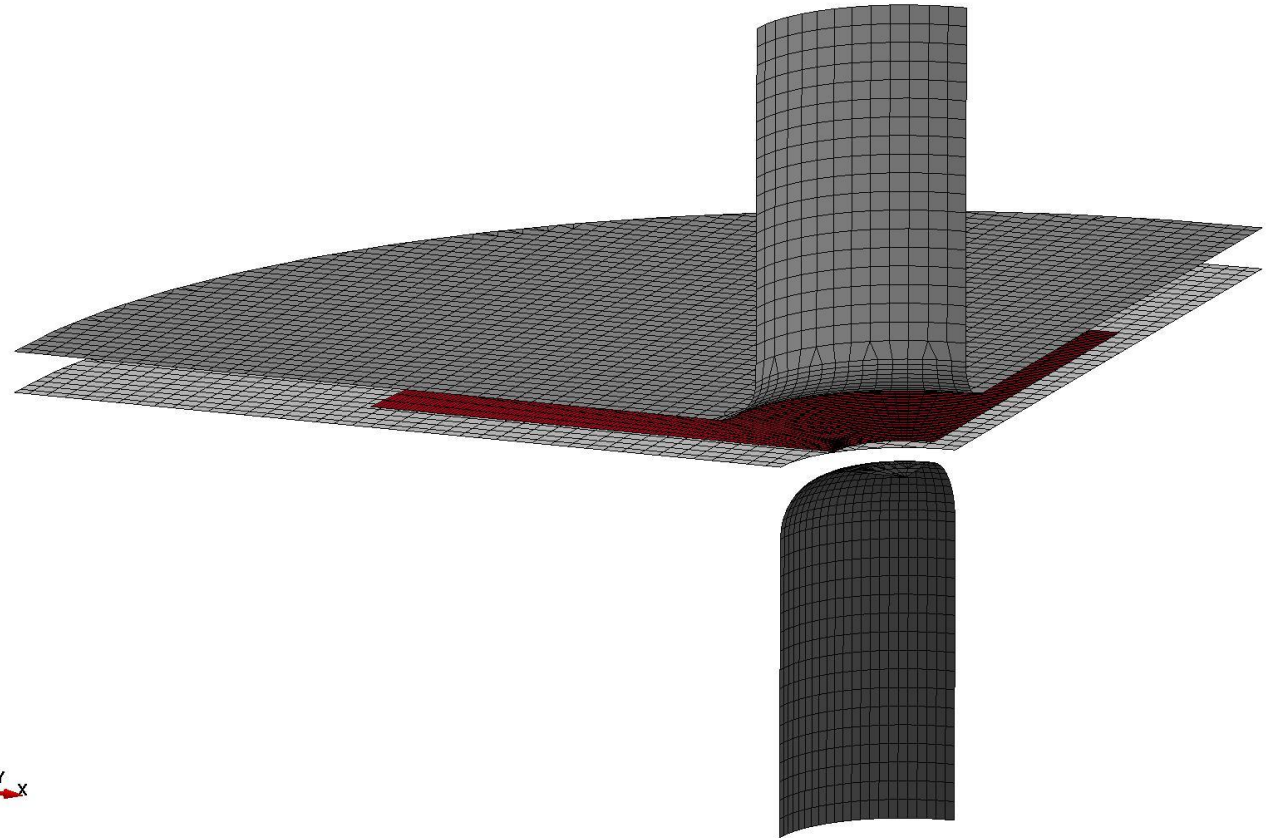
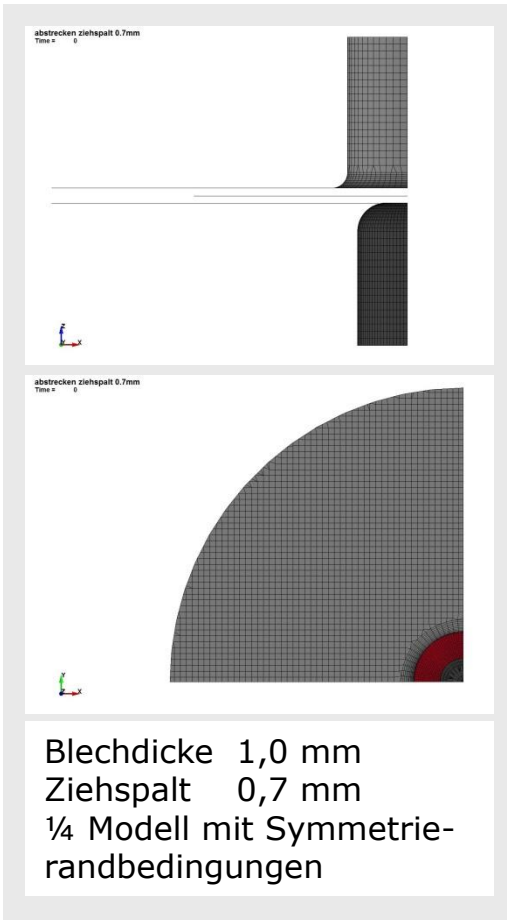
a) undeformiert und b) deformiert: Es sind 3 translatorische u_i und 2 rotatorische Freiheitsgrade ω_i definiert

Definition der Freiheitsgrade einer **6-Parameter** Schalenformulierung

c) undeformiert und d) deformiert: Neben den in Bild links definierten Freiheitsgraden wird noch ein Freiheitsgrad für die Dickenänderung S_3 definiert

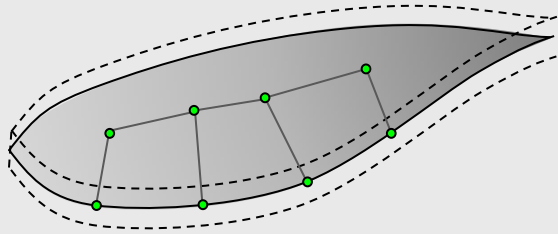
2.

Abstreckziehprozess - Modell

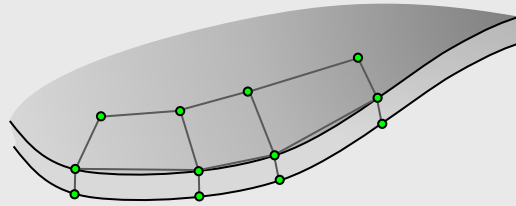
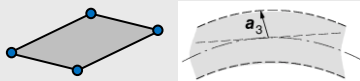


2.1

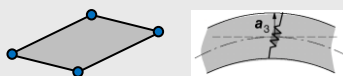
Differenzierung der Elementformulierungen in LS-DYNA



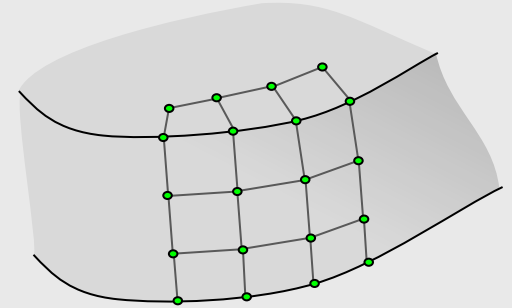
Elementtyp 16
(vollintegriert)
IDOF 1
NIP 5



Elementtyp 26
(vollintegriert)
IDOF 1
NIP 5

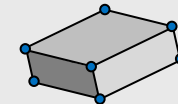


Elementtyp 16
IDOF 3
NIP 5



Elementtyp 1

(5 Elemente über die Dicke)



Schale 16

„Dicke“ Schale 16/26

Solid 1

2.2 Einstellungen

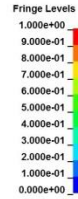
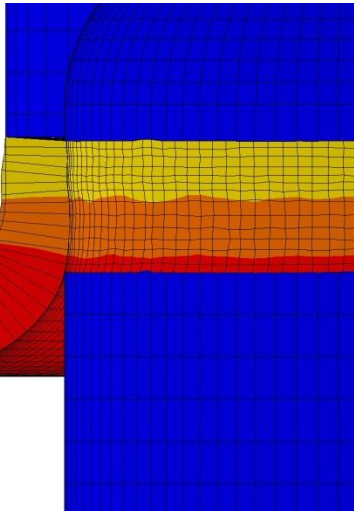
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kontaktsteifigkeit muss angepasst werden: SLSFAC = 0.15 			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kontaktsteifigkeit muss angepasst werden: SLSFAC = 0.3
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausreichende Netzfeinheit für die Abbildung des Umformgrades 			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausreichende Anzahl von Integrationspunkten über die Schalendicke NIP = 5 			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausreichende Anzahl von Elementen über die Blechdicke (5)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ IDOF = 1, d.h. vernachlässigbare Spannungen in Dickenrichtung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IDOF = 3 d.h. Freiheitsgrad für die Dickenänderung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IDOF = 1 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ebenbleiben des Querschnitts 			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Querschnittsverwölbung abbildbar
<p>reduzierter Spannungsraum unter der Annahme vernachlässigbarer Spannungen in Dickenrichtung</p>			<p>Vollständiger dreidimensionaler Spannungszustand am Ort der größten Biege- und Streckbeanspruchung infolge des Kontaktquerdruks</p>
<p>Schale 16-1</p>	<p>Schale 16-3</p>	<p>Schale 26-1</p>	<p>Solid 1</p>

2.3

Blechdicke im Ziehspalt

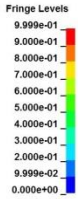
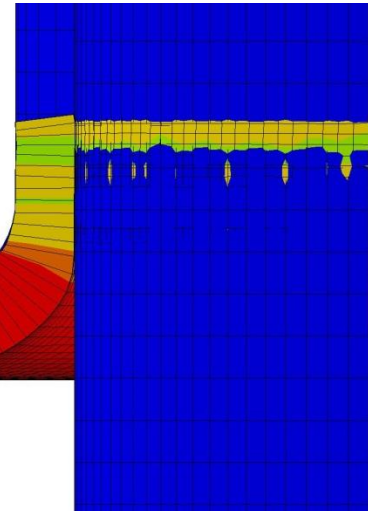
abstrecken ziehsplatt 0.7mm
Time = 0.00249
Contours of Shell Thickness
min=0, at elem# 9010057
max=0.999957, at elem# 9012647

Schale 16-1



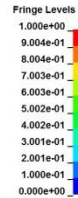
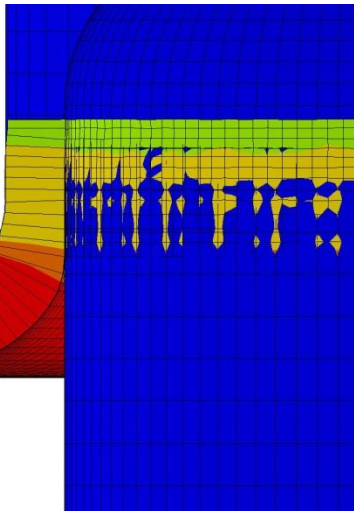
abstrecken ziehsplatt 0.7mm
Time = 0.00249
Contours of Shell Thickness
min=0, at elem# 9010057
max=0.999949, at elem# 9012014

Schale 16-3



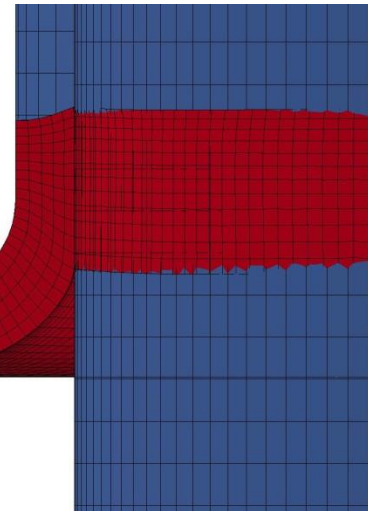
abstrecken ziehsplatt 0.7mm
Time = 0.00249
Contours of Shell Thickness
min=0, at elem# 9010057
max=1.00064, at elem# 9012475

Schale 26-1

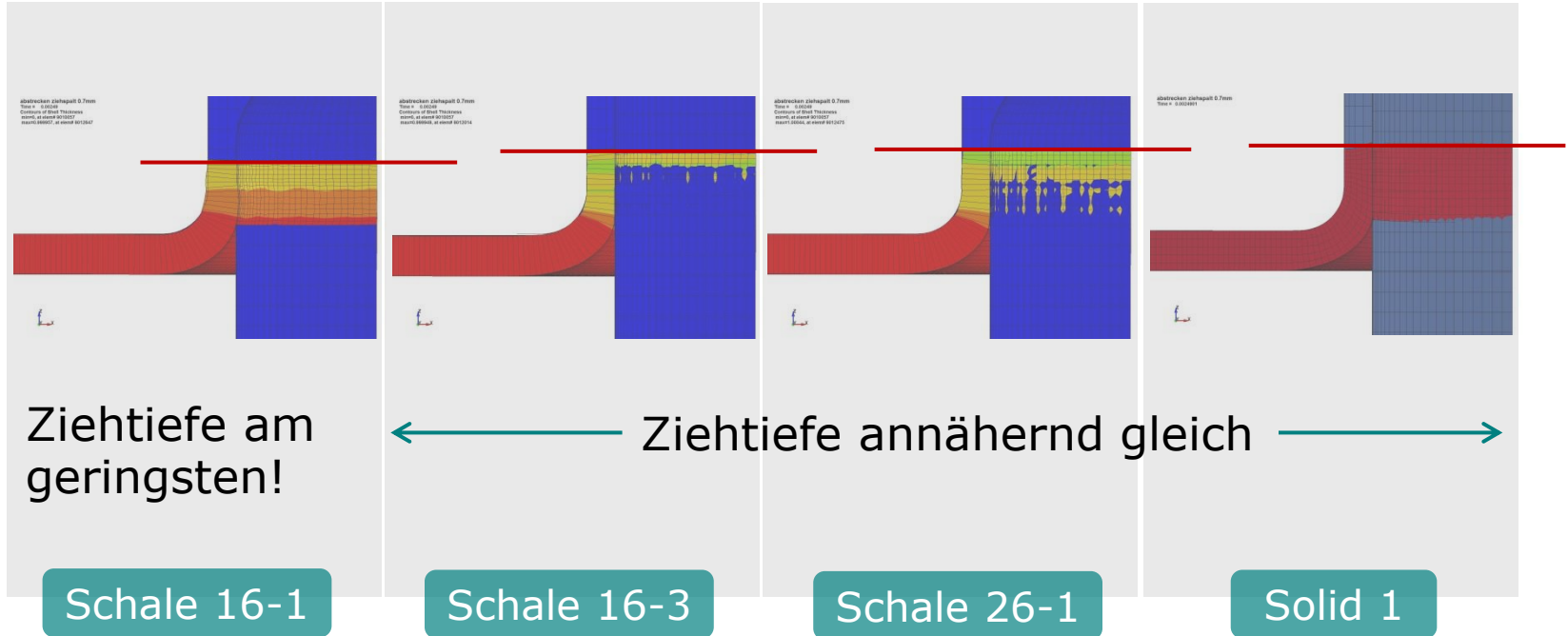


abstrecken ziehsplatt 0.7mm
Time = 0.0024901

Solid 1



2.3 Ziehtiefe im Ziehspalt



2.3 Rechendauer etc.

<ul style="list-style-type: none">▪ 2 CPU▪ R6.1.2▪ Keine adaptive Netzverfeinerung▪ Selektive Massenskalierung <p>▪ Zeitschritt -2.38E-07</p>	<ul style="list-style-type: none">▪ 2 CPU▪ R6.1.2▪ Keine adaptive Netzverfeinerung▪ Selektive Massenskalierung <p>▪ Zeitschritt -2.38E-07</p>		<ul style="list-style-type: none">▪ 2 CPU▪ R6.1.2▪ Keine adaptive Netzverfeinerung▪ Selektive Massenskalierung <p>▪ Zeitschritt -2.38E-07</p>
0h 3min 57sec	0h 4min 35sec	0h 5min 25sec	0h 3min 18sec
Schale 16-1	Schale 16-3	Schale 26-1	Solid 1

Der durchgeführte Abstreckziehprozess zeigt deutlich, dass die bisher angewendeten Schalenmodelle bei hoher Streckbiegebeanspruchung nicht ausreichend sind. Der Spannungsanteil aus der Querbeanspruchung kann nicht hinreichend abgebildet werden.

Die vorliegenden Untersuchungen lassen vermuten, dass durch die Anwendung von Schalenformulierungen höherer Ordnung, bzw. durch die Modifikation bestehender Modelle, welche die Belastung quer zur Schalenmittelfläche berücksichtigen, deutlich sicherere Aussagen möglich sind.