

Das neue Material-Modell *MAT_251 und seine potentielle Anwendung für Materialien mit lokal unterschiedlichen Eigenschaften infolge partiellen Warmumformens (Tailored-Tempering) oder vordehnungsabhängigen Bake-Hardening – Effekts



Reinhard Müller, Adam Opel AG
Martin Stillger, Adam Opel AG
Paul Du Bois, Consultant



***MAT_TAILORED_PROPERTIES**

This is Material Type 251. It is similar to MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY or MAT_024 (see full description there), except for the 3-D table option that uses a history variable (e.g. hardness, temperature, ...) from a previous calculation to evaluate the plastic behavior as a function of 1) history variable, 2) strain rate, and 3) plastic strain. Only available for shell elements.

***MAT_251 ist eine Erweiterung des *MAT_24 um eine weitere Dimension in der Abbildung des Material-Verhaltens.**

Damit lassen sich isotrope Materialien berechnen, deren mechanisches Verhalten nicht aus nur einem dehnraten-abhängigen Spannungs-Dehnungs-Verhalten herleitbar ist.

Verfügbar ab DYNA-Version : 971_s R6.1 .1. 73871



Card 1 1 2 3 4 5 6 7 8

Variable	MID	RO	E	PR			FAIL	TDEL
Type	A8	F	F	F			F	F
Default	none	none	none	none			10.E+20	0

+

Card 2 1 2 3 4 5 6 7 8

Variable			LCSS		VP	HISVN	PHASE	
Type			F		F	I	F	
Default			0		0	0	0	

LCSS

Load curve ID or Table ID (see full description of MAT_024). Load curve for stress vs. plastic strain. 2-D table for stress vs. plastic strain as a function of strain rates. 3-D table for stress vs. plastic strain as a function of strain rates as a function of history variable values (see HISVN).

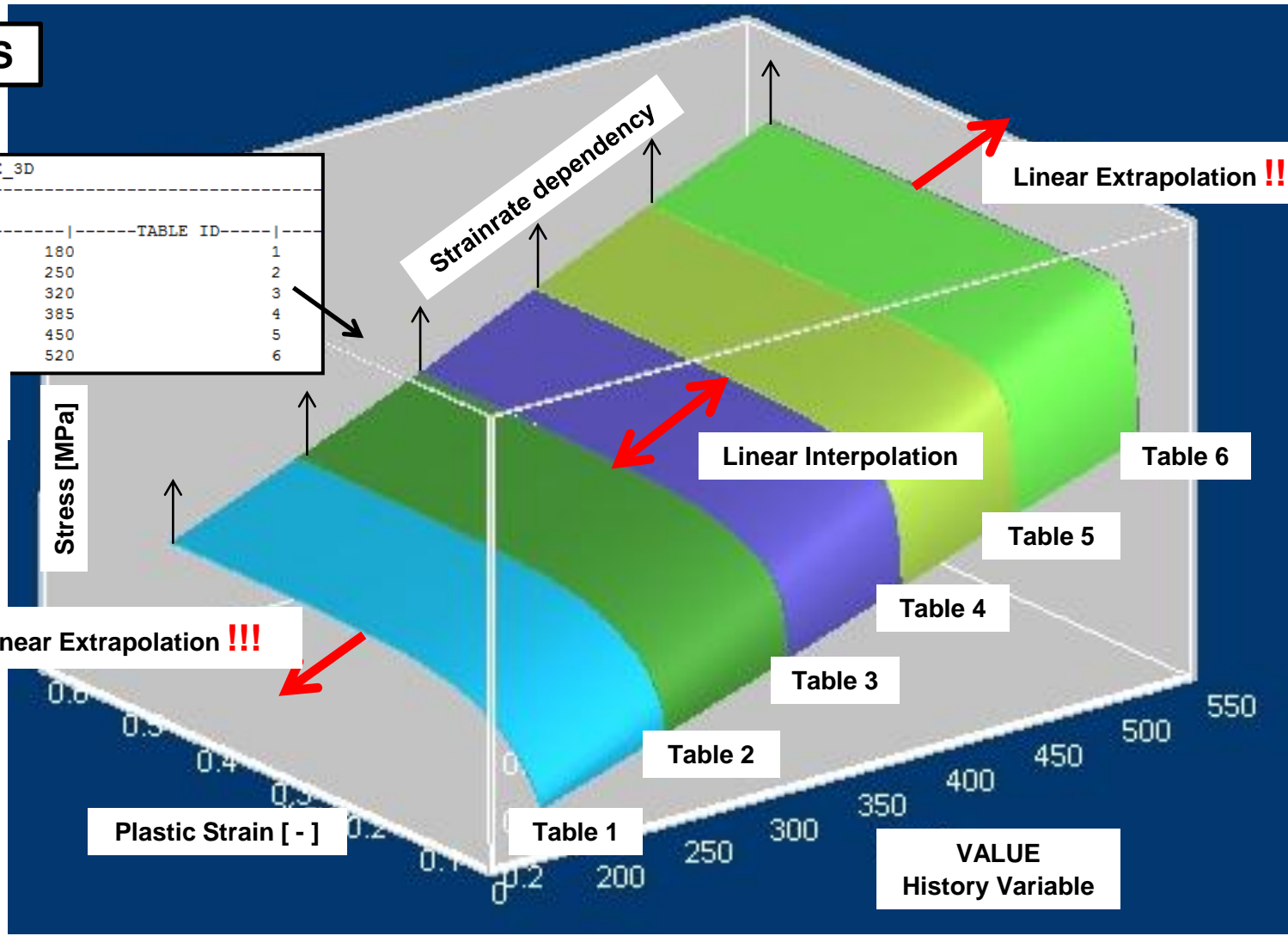
HISVN

Location of history variable in the history array of *INITIAL_STRESS_SHELL that is used to evaluate the 3-D table LCSS.



LCSS

```
*DEFINE_TABLE_3D
$--TBID--|-----
      1000
$-----VALUE-----|-----TABLE ID-----|
Wert der History Variable, für den der Table gilt | 180 | 1 |
| 250 | 2 |
| 320 | 3 |
| 385 | 4 |
| 450 | 5 |
| 520 | 6 |
```



Wert der History Variable, für den der Table gilt

Stress [MPa]

Plastic Strain [-]

VALUE History Variable



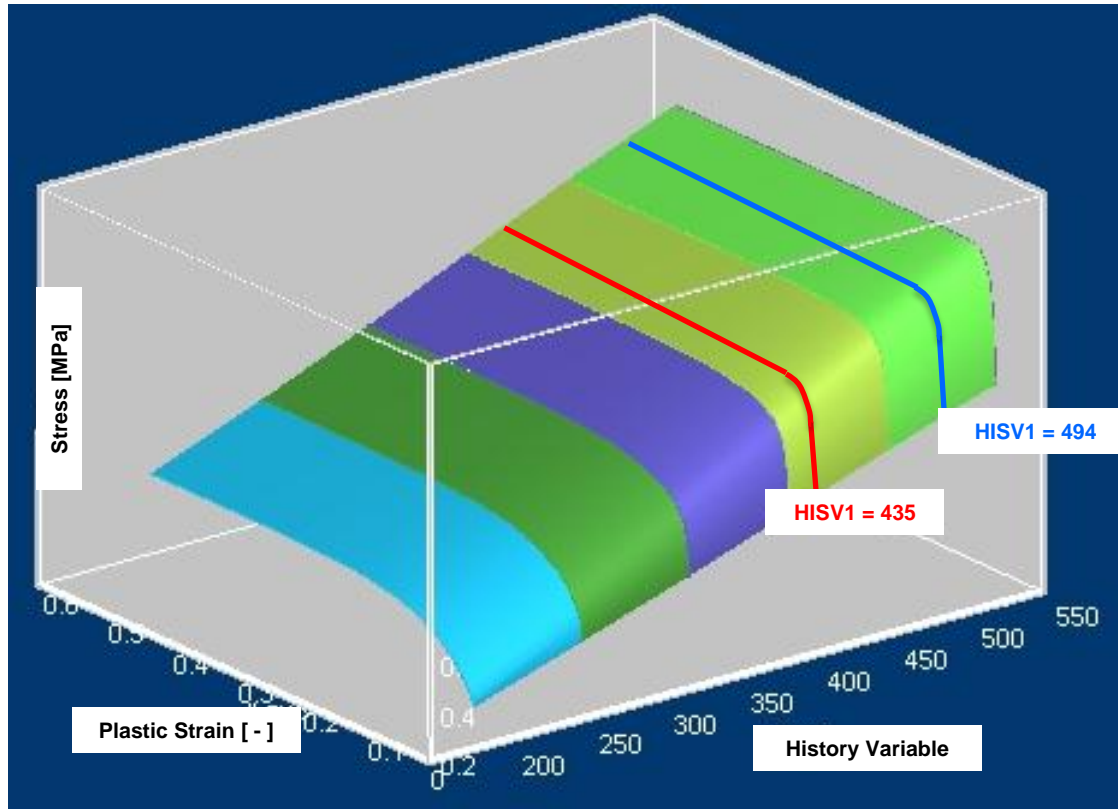
Individuelles Spannungs-Dehnungs-Verhalten für jeden Integrationspunkt in Abhängigkeit von der History-Variablen

HISVN = 1 →

```

*INITIAL_STRESS_SHELL
$#      EID      NPLANE      NTHICK      NHISV      NTENSR      LARGE
$#      T      SIGXX      SIGYY      SIGZZ      SIGXY      SIGYZ      SIGZX      EPS
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
4.350E+02  HISV1      HISV2      HISV3      HISV4      HISV5      HISV6      HISV7      HISV8
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
4.940E+02  HISV1      HISV2      HISV3      HISV4      HISV5      HISV6      HISV7      HISV8
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00

```



Dicken-Mapping und Plastic Strain Mapping bleiben erhalten und werden dem Mapping der History-Variablen überlagert.

d.h. wenn die Vordehnungen in den History-Variablen-Curves schon berücksichtigt sind, so muß in der *INITIAL_STRESS_SHELL EPS=0.0 stehen, bzw. das Mapping der Strains ist auszuschalten.

***INCLUDE_STAMPED_PART**

If the STAMPED_PART option is active then define the following input.

STAMPED_PART option

Card 2 1 2 3 4 5 6 7 8

Variable	PID	THICK	PSTRN	STRAIN	STRESS	INCOUT		RMAX
Type	I	I	I	I	I	I		F
Default	none	0	0	0	0	0		10.0

PSTRN

Plastic strain remap:

EQ.0: map plastic strain

→ EQ.1: do not plastic strain

If the _MATRIX option is inactive define the follow card.

Card 3 1 2 3 4 5 6 7 8

Variable	N1S	N2S	N3S	N1C	N2C	N3C	TENSOR	THKSCL
Type	I	I	I	I	I	I	I	F
Default	0	0	0	0	0	0	0	1.0

TENSOR

Tensor remap:

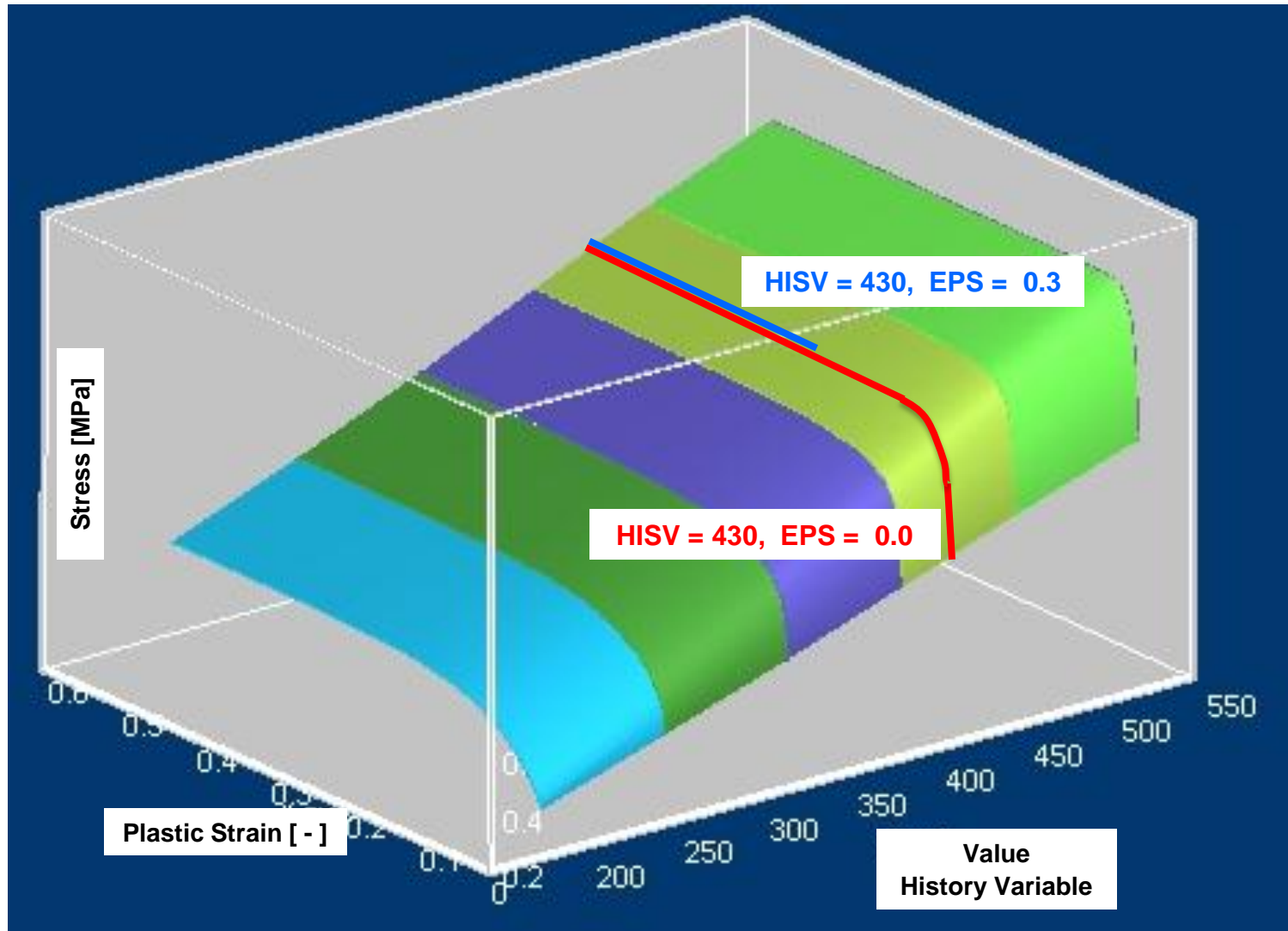
EQ.0: map tensor data from history variables. (See Re

→ EQ.1: do not map tensor data from history variables

Zum Ausschalten des Dehnungs-Mappings müssen PSTRN=1 und TENSOR=1 gesetzt sein.

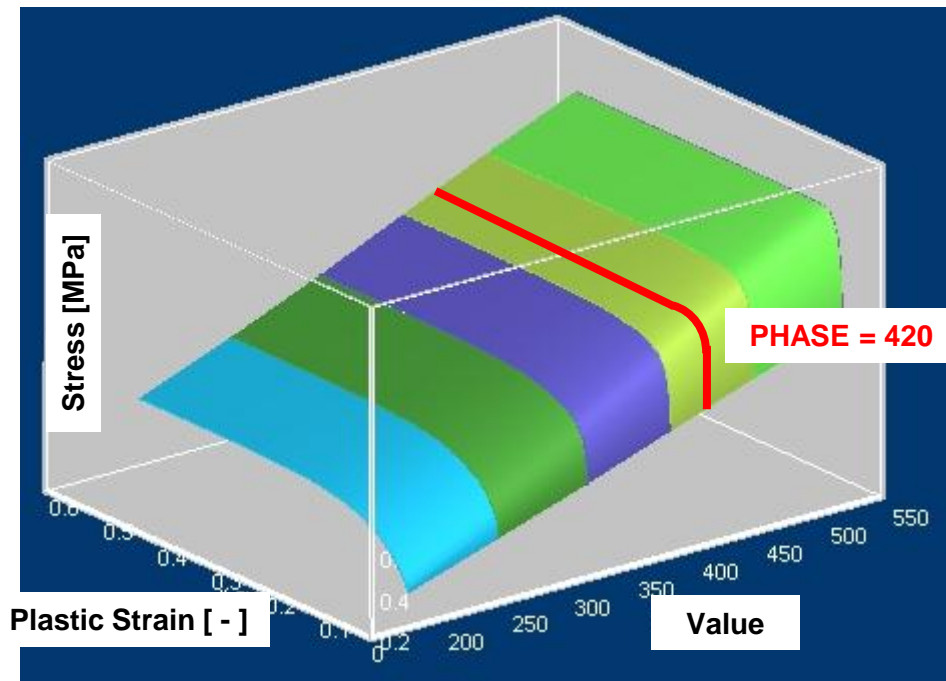


Plastic Strain Mapping und Dicken-Mapping bleiben erhalten und werden dem Mapping der History-Variablen überlagert.



Card 2 1 2 3 4 5 6 7 8

Variable			LCSS		VP	HISVN	PHASE	
Type			F		F	I	F	
Default			0		0	0	0	



Nur wenn HISVN = 0:

Es wird dem gesamten Part ein einheitliches Materialverhalten zugeordnet, das für den Wert PHASE als Wert der History-Variablen inter- / extrapoliert wurde.



**Potentielle Anwendung:
Partielles Warmumformen (Tailored Tempering)**

**Lokal unterschiedliche Spannungs-Dehnungs-Verhalten in
Abhängigkeit von der Temperaturführung während der
Fertigung**



Ausgangsmaterial: kaltgewalzter, borlegierter Vergütungsstahl 22MnB5 . Erhitzung auf Austenitisierungs-Temperatur (ca. 900 ° C) und anschließendes schnelles Abkühlen (mindestens 27 K/s) führt zur Ausbildung eines martensitischen Gefüges

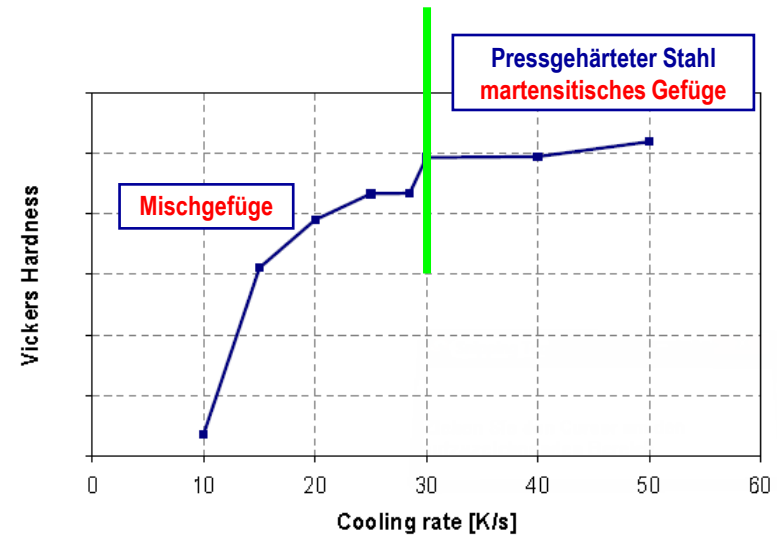
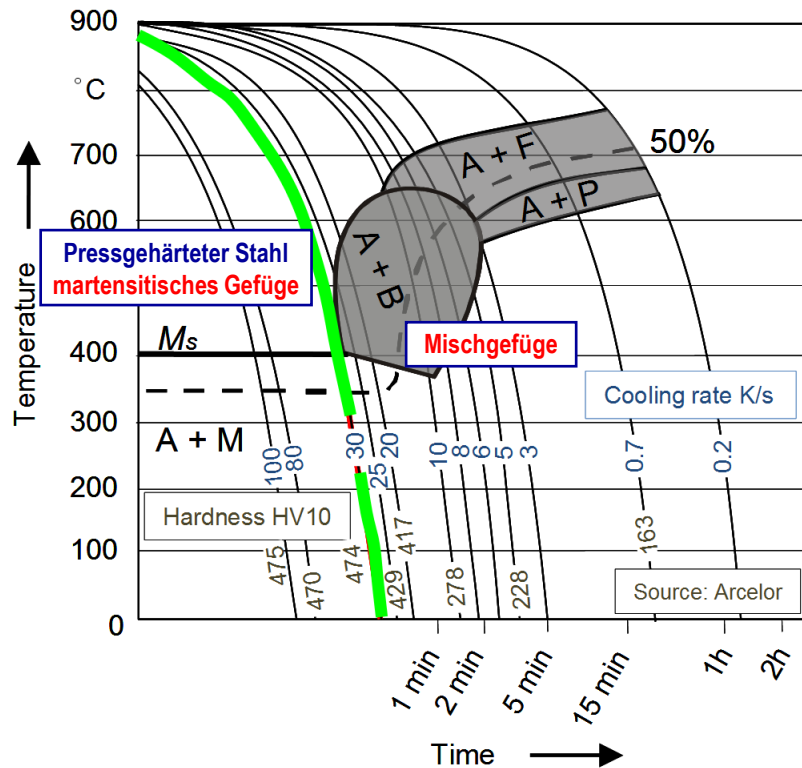


Figure 3.5 Vickers hardness at room temperature for different cooling rates
http://paduaresearch.cab.unipd.it/378/1/Tesi__Dottorato_Alberto_Turetta.pdf

Langsamere Abkühlung führt zu Mischgefügen, die in Abhängigkeit von ihrer Zusammensetzung (Austenit, Ferrit und Bainit in verschiedenen Anteilen) unterschiedliche mechanische Eigenschaften haben.

Durch gezielte Beeinflussung lokaler Bereiche hinsichtlich der Werkzeugkühlung, Wärmeleitung, Platinentemperatur, Kontaktdruck etc. können lokal weichere Bereiche im Bauteil erzeugt werden, die dafür eine höhere Duktilität aufweisen (lokal optimierte Materialeigenschaften = Tailored Tempering).



Simulation des Härtens

In der Umform-Simulation lassen sich diese Abkühl-Vorgänge und die daraus resultierenden Gefüge berechnen.

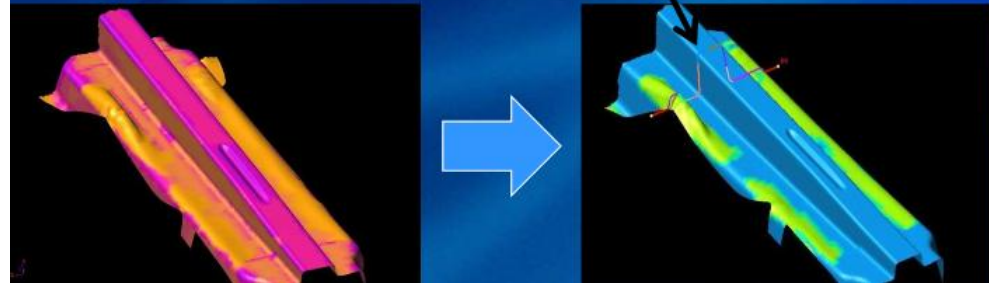
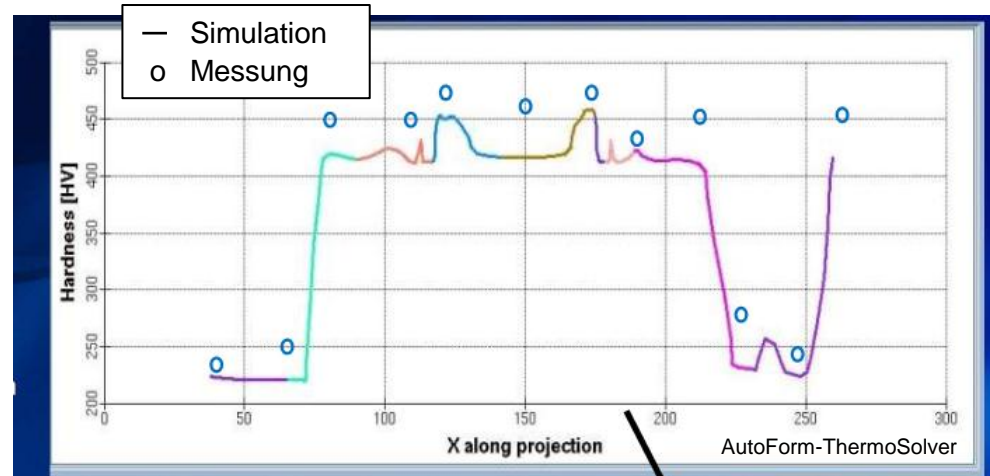
Es können die jeweiligen lokalen Härten (z.B. Vickershärten) ausgegeben werden.

Ausgabe der Vickers-Härte in der
`*INITIAL_STRESS_SHELL:`

AutoForm-ThermoSolver : als HISV1

LS-DYNA: If material history is written to dynain file using `*INTERFACE_SPRINGBACK_LSDYNA`, the history variable of material 251 (hardness) is written to position HISV6 of `*INITIAL_STRESS_SHELL`.

Beispiel: Härteverteilung bei lokal unzureichendem Kontakt der Platine mit dem Werkzeug



Kerausch M., Stillger M.: „Simulation of Hotforming and Quenching Processes“, 2nd Internat. Seminar on Hot Sheet Metal Forming, Hannoner, 2012

Simulation der Umformung
und Abkühlung

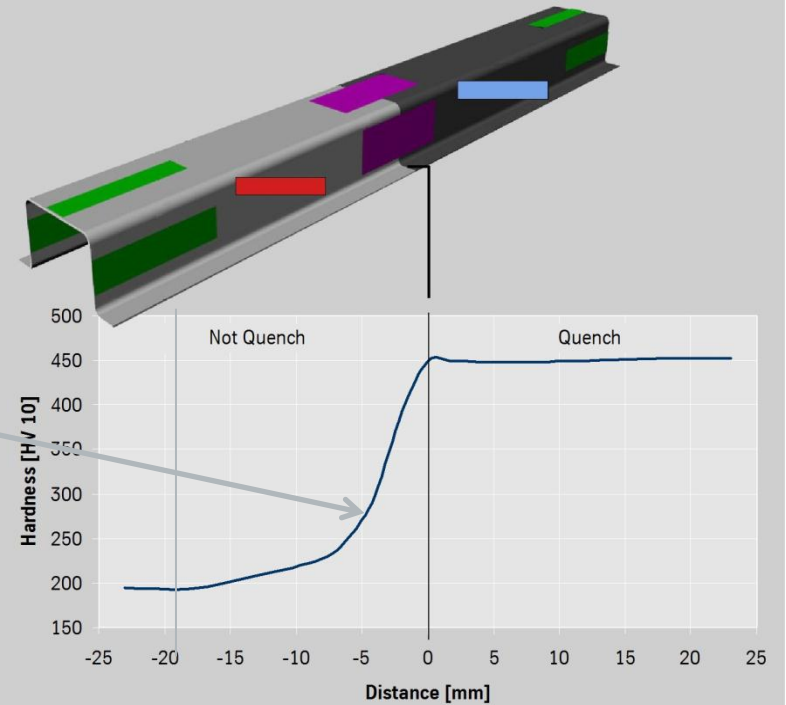
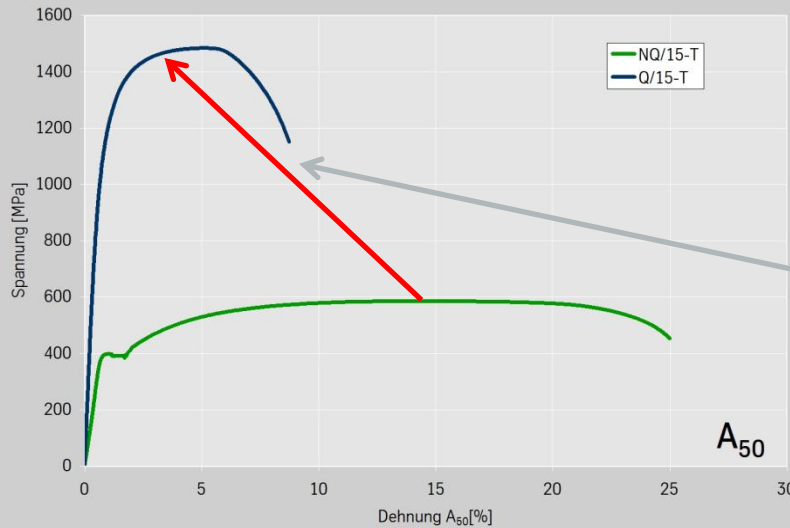
Ausgabe der lokalen
Härteverteilung



Wir leben Autos.

Im Übergangsbereich gehen die Material-Eigenschaften kontinuierlich von den nicht-gehärteten in die gehärteten über.

○ Hardness measurements / Tensile test



ThyssenKrupp Steel

Übergangsbereich,
unterschiedlichste
Mischgefüge



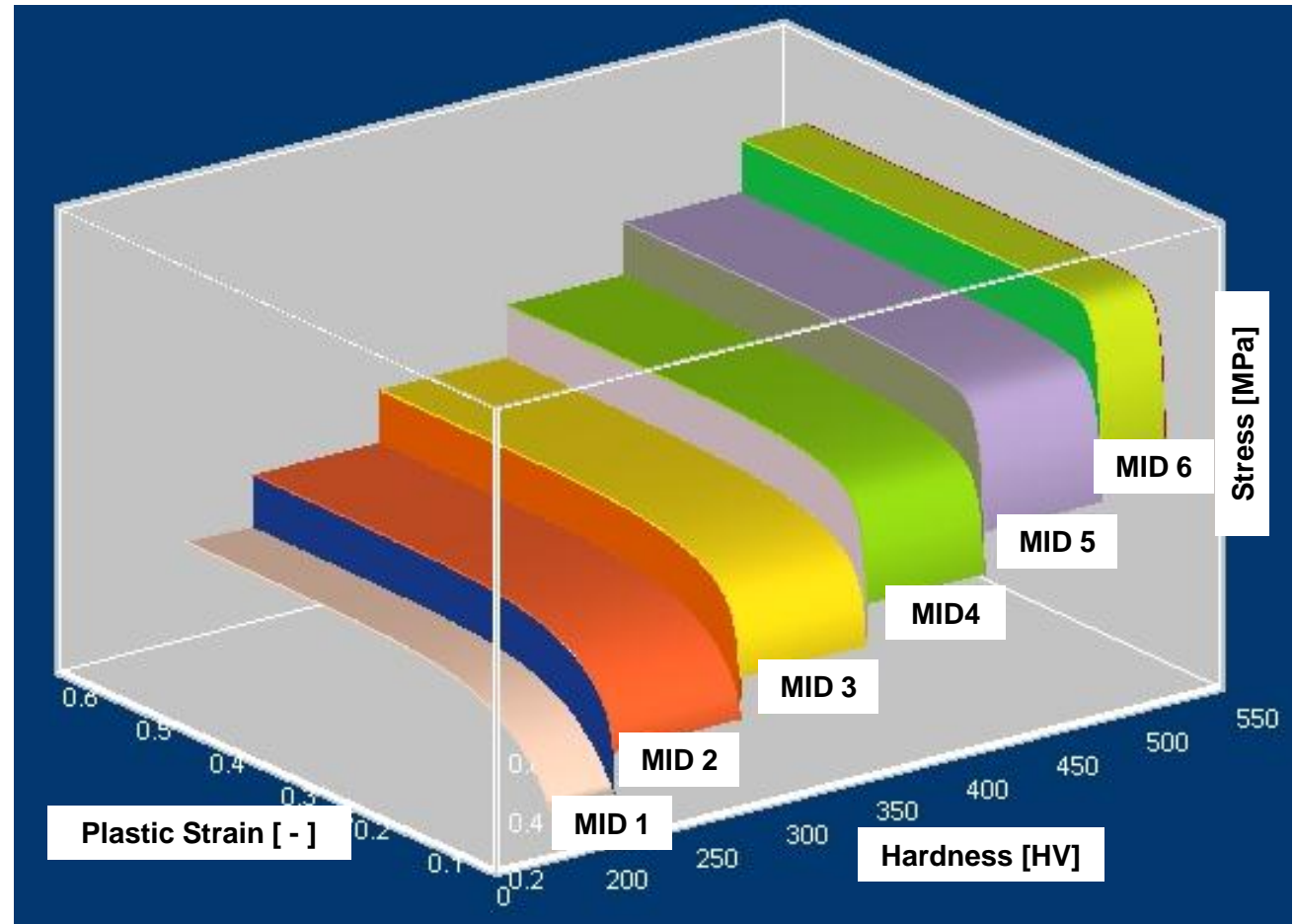
Wir leben Autos.

Klassische Vorgehensweise

(*MAT_24):

Bestimmten Härtebereichen wird jeweils eine MID zugeordnet.

- Es wird ein zusätzliches Programm benötigt, das diese Zuordnung vornimmt
- Stufenweise Abbildung des mechanischen Verhaltens
- Mehrere MIDs und PIDs in einem Teil

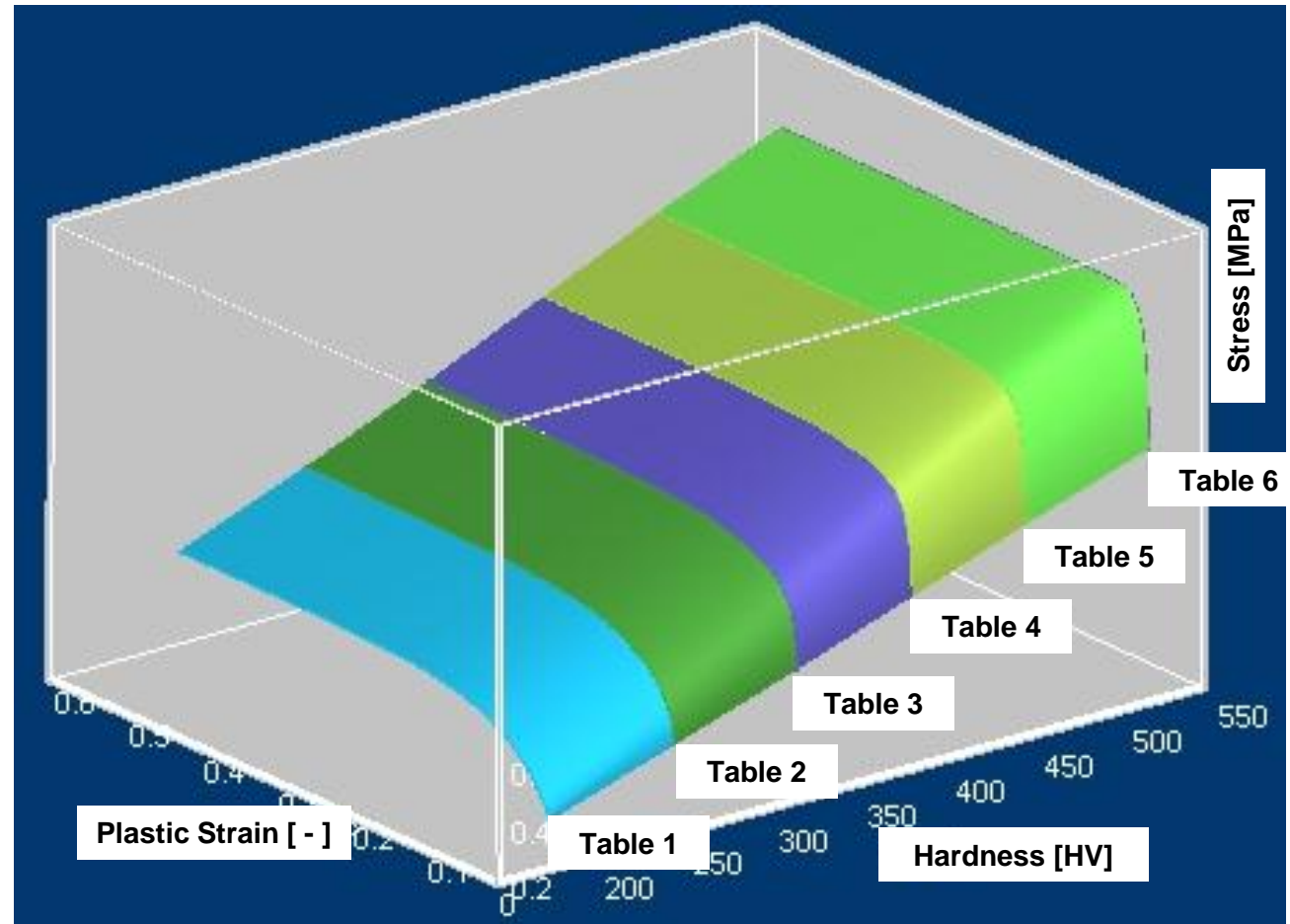


*MAT_251

Vorgehensweise:

Lineare Interpolation
zwischen mehreren
Kurven einer MID

- kontinuierliche
Abbildung des
mechanischen
Verhaltens
- Individuell
interpoliertes
Verhalten für jeden
Integrationspunkt
- eine MID und PID
für ein Teil



→ Realitätsnäher und weniger aufwändig



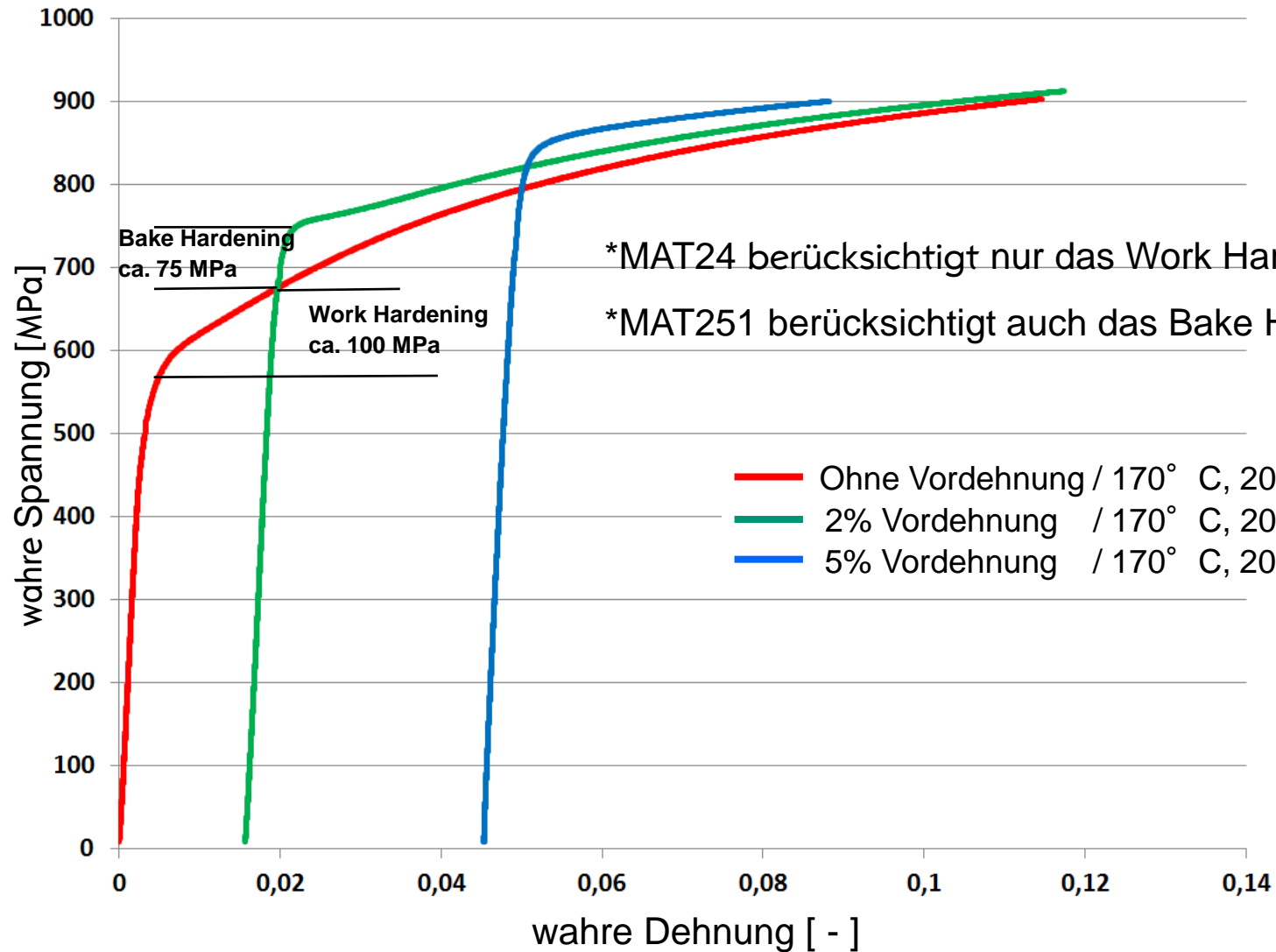
Potentielle Anwendung: Bake Hardening Effekt

Lokal unterschiedliche Spannungs-Dehnungs-Verhalten in Abhängigkeit von der Vordehnung bei der Umformung.

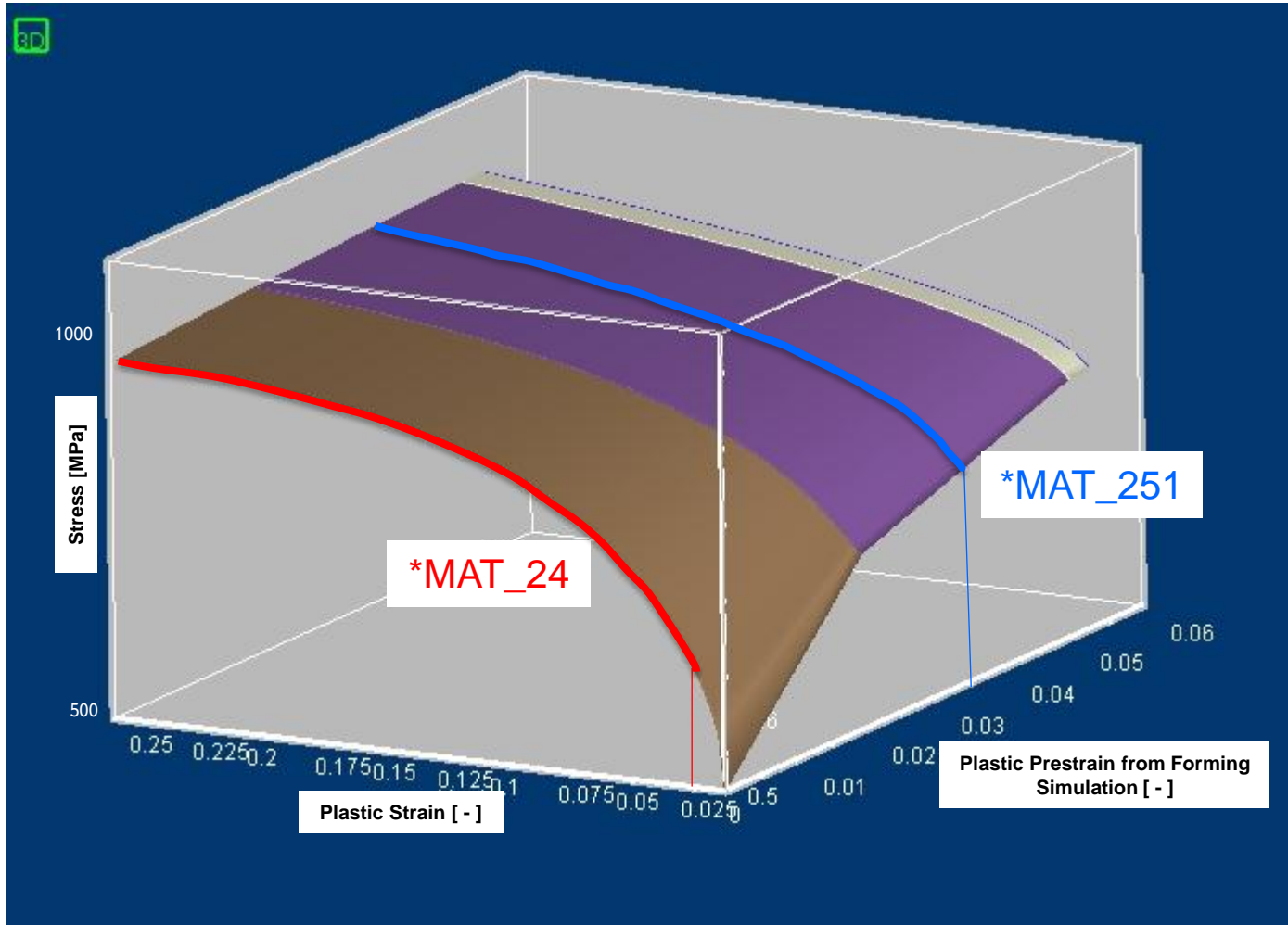
Der Bake Hardening Effekt tritt nicht nur bei den Bake Hardening Stählen auf, sondern auch bei verschiedenen höchstfesten Stählen (z.B. DP, MP, TRIP)



Bake Hardening Effekt, DP800



Mapping für 3% plastische Vordehnung



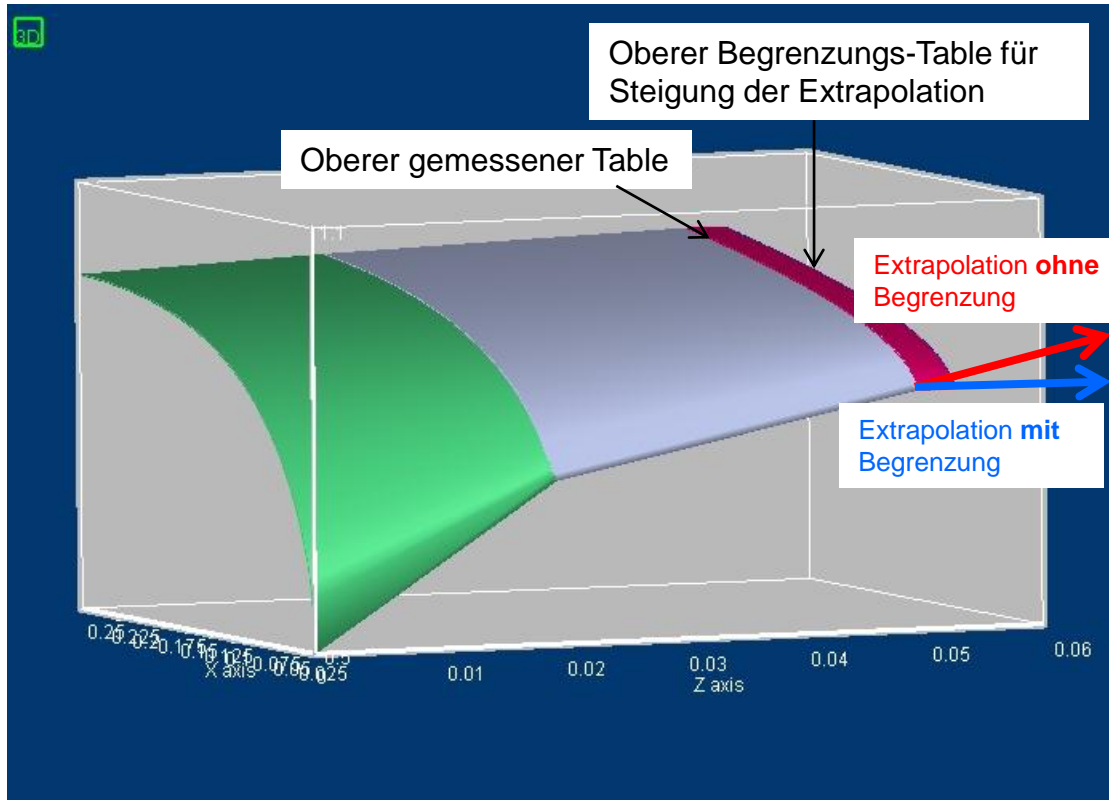
Die plastische Dehnung aus der Umformsimulation wird als HISVN in die optionale Karte der *INITIAL_STRESS_SHELL geschrieben.

```
*INITIAL_STRESS_SHELL
$#      EID      NPLANE      NTHICK      NHISV      NTENSR      LARGE
        1         1         5         1         0         0
$#      T      SIGXX      SIGYY      SIGZZ      SIGXY      SIGYZ      SIGZX      EPS
-1.000E+00-5.337E+02-7.470E+02-4.384E+02-5.233E+01-5.716E+02-6.260E+01 1.334E-01
        HISV1      HISV2      HISV3      HISV4      HISV5      HISV6      HISV7      HISV8
1.334E-01 ←
-5.000E-01-1.945E+02-3.279E+02-1.904E+02 7.181E+00-2.497E+02-2.808E+00 6.680E-02
6.680E-02
0.000E+00 1.446E+02 9.115E+01 5.755E+01 6.669E+01 7.231E+01 5.699E+01 1.600E-04
1.600E-04
5.000E-01 3.520E+02 4.113E+02 2.443E+02 7.302E+01 3.166E+02 7.064E+01 5.930E-02
5.930E-02
1.000E+00 5.593E+02 7.314E+02 4.311E+02 7.935E+01 5.609E+02 8.429E+01 1.184E-01
1.184E-01
```

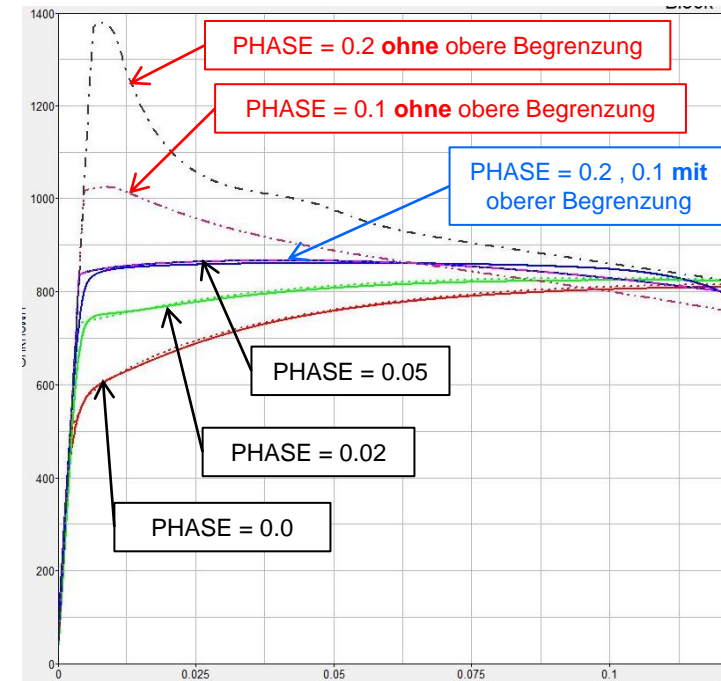
Da hier die Vordehnungen schon im Materialinput berücksichtigt sind, muß das Dehnungsmapping ausgeschaltet bzw. EPS = 0.0 eingetragen werden.



Die gemappten plastischen Dehnungen (EPS) im Bauteil erreichen viel höhere Werte als die 5%, für die die obere gemessene Kurve gilt.



Nachrechnung der Zugprobe mit und ohne obere Begrenzung

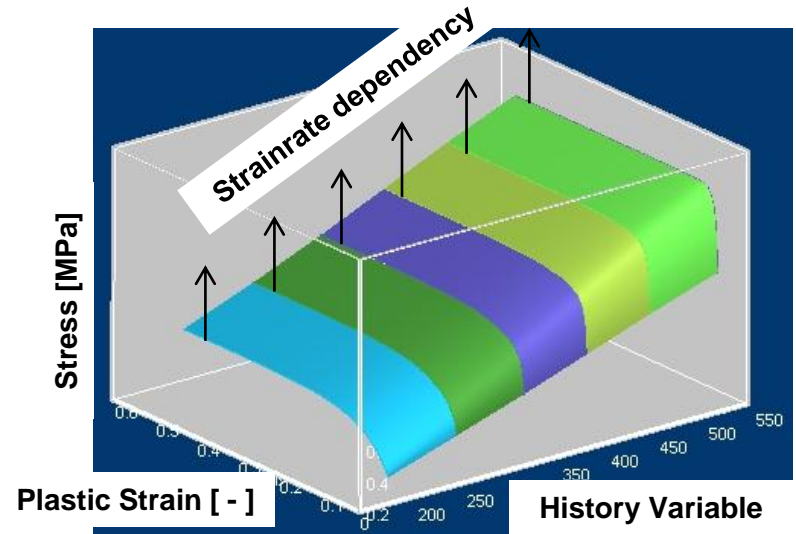
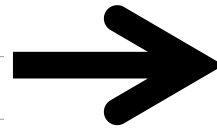
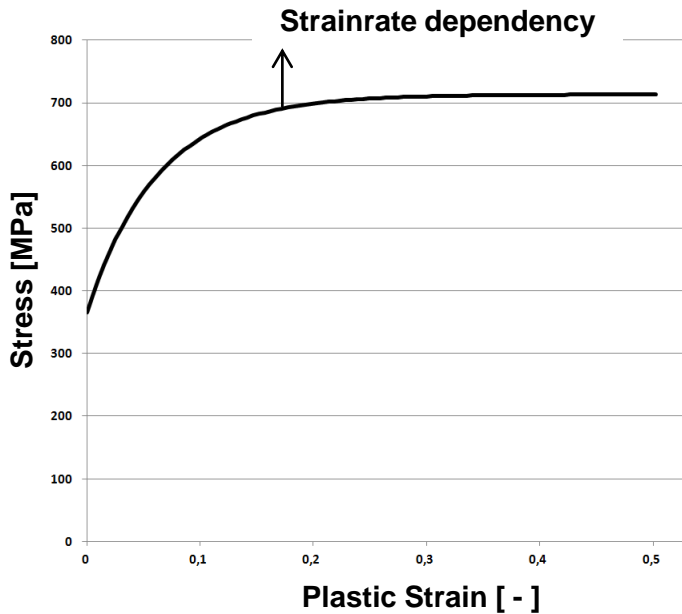


Durch Extrapolation ohne oberen Begrenzungs-Table ergeben sich für DP800 unsinnige Materialverhalten



Wir leben Autos.

Zusammenfassung



*MAT_TAILORED_PROPERTIES (*MAT_251) bietet die Möglichkeit, auf Grund des Herstellungsprozesses lokal unterschiedliche Spannungs-Dehnungs-Verhalten von der Umformsimulation in die Crashsimulation zu übertragen und an jedem Integrationspunkt individuell zu berücksichtigen.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Wir leben Autos.