

Zur Definition von Plastizität in den Programmen ANSYS und Workbench

Motivation:

Auch dieser Beitrag im Newsletter ist motiviert durch zahlreiche Anfragen in unserem Support zum oben genannten Thema:

Die Eingabe von multilinearer Plastizität erfolgte in ANSYS bis zur Version ANSYS 9.0 typischerweise durch die Eingabe von diskreten Datenpaaren vom Typ [Spannung / Totale Dehnung]. So ist es auch in Workbench gewesen, jedenfalls bis zur Version 9.0. An dieser Stelle soll gleich angemerkt werden, dass es für die folgenden Ausführungen belanglos ist, ob man dabei von isotroper oder kinematischer Verfestigung ausgeht.

Ab der ANSYS Version 10.0 steht mit der APDL Passage TB,PLAS,... eine veränderte Dateneingabe zur Definition der Plastizität zur Verfügung. Damit ist es möglich multilineare Plastizität durch die Eingabe von Datenpaaren vom Typ [Spannung / Plastische Dehnung] zu definieren. Und auch in Workbench stellt man ab der Version 10.0 fest, dass dieselben Datenpaare als Eingabewerte verlangt werden.

Stress vs. Plastic Strain		
	Plastic Strain mm/mm	Stress MPa
1	0,	500,
2	2,6167e-006	550,
3	8,2921e-006	600,
4	2,3958e-005	650,
5	6,3984e-005	700,
6	1,5968e-004	750,
7	3,7565e-004	800,
8	8,3905e-004	850,
9	1,7899e-003	900,
10	3,6651e-003	950,
11	7,2339e-003	1000,
12	1,3812e-002	1050,
13	2,5589e-002	1100,
14	4,6127e-002	1150,
15	8,1088e-002	1200,
16	0,1393	1250,
17	0,23429	1300,
18	0,38637	1350,
19	0,6257	1400,
20	0,99628	1450,
21	1,5615	1500,
22	2,4116	1550,
23	3,6735	1600,
24	5,5236	1650,
*		

Workbench

```

TB, PLAS, 1, , 24, MISO
TBPT, , 0., 500.
TBPT, , 2.61671e-006, 550.
TBPT, , 8.29205e-006, 600.
TBPT, , 2.3958e-005, 650.
TBPT, , 6.39843e-005, 700.
...
                
```

ANSYS

Zur Definition von Plastizität in den Programmen ANSYS und Workbench

Fragestellungen:

Zu diesen neuen Eingabemöglichkeiten entstehen folgende Fragen, die wir in diesem Newsletter Beitrag beantworten wollen:

1. *Was ist hinsichtlich der Eingabe des E-Moduls zu beachten?*

Es ist hinreichend bekannt, dass bei Plastizität die Kurve im Fließbereich nicht steiler sein darf, als durch die Steigung des E-Moduls im Diagramm [Spannung / Totale Dehnung] vorgegeben.

2. *Wie sind die Daten [Spannungen / Plastische Dehnungen] zu ermitteln ?*

Typischerweise findet man in Tabellenwerken Kurven, in denen die Wertepaare [Spannung / Totale Dehnung] eingetragen sind.

3. *Was macht Workbench mit Daten aus der Version 9.0 in der Version 10.0?*

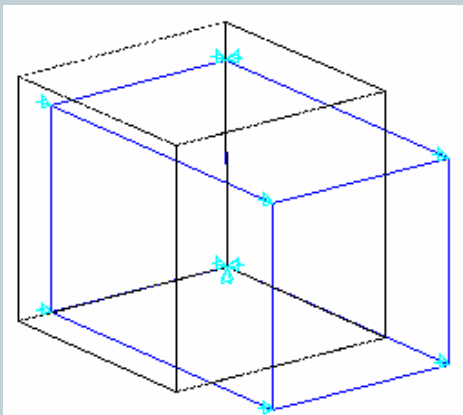
Zur Definition von Plastizität in den Programmen ANSYS und Workbench

Antworten und Lösungen:

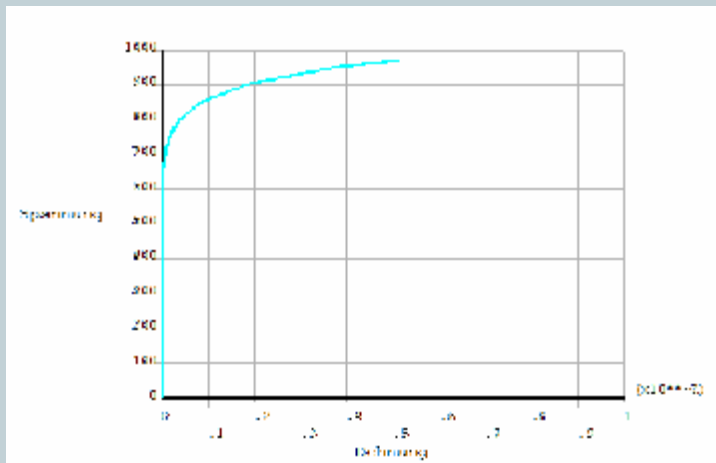
1. Was ist hinsichtlich der Eingabe des E-Moduls zu beachten?

Hierzu diene der folgende Test, der interessante Ergebnisse liefert:
Man nehme ein lineares Element, zum Beispiel das ANSYS Element SOLID185 und bringe einen einaxialen Spannungszustand auf. Die Verschiebungen an der Einspannstelle sind nur in Längsrichtung blockiert, es stellt sich also ein dreidimensionaler Verzerrungszustand ein.

In Längsrichtung stellt man Spannungs-Dehnungsdiagramme dar. Das geht typischerweise gut im Time-History-Postprocessor /POST26 von ANSYS.
Der Versuch wird verschiebungsgesteuert durchgeführt:



Hinterlegt sind die auf der ersten Seite bereitgestellten Daten [Spannung / Plastische Dehnung]. Wir untersuchen zwei E-Moduli:



Zur Definition von Plastizität in den Programmen ANSYS und Workbench

Antworten und Lösungen:

1. Was ist hinsichtlich der Eingabe des E-Moduls zu beachten?

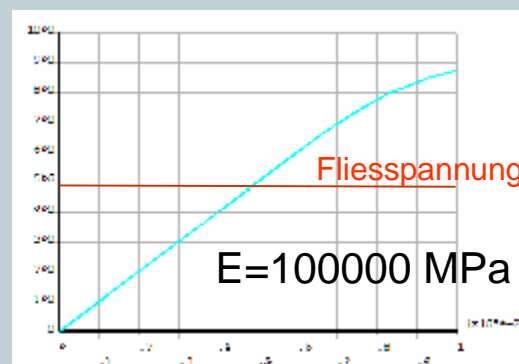
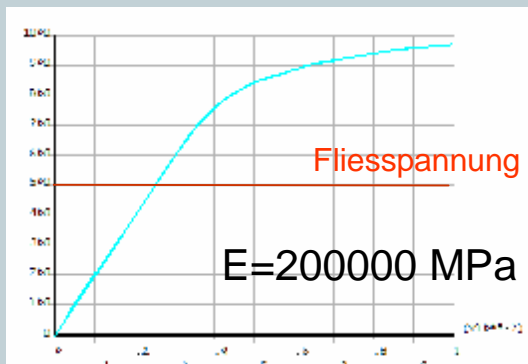


Diagramme aus /POST26; [Spannung / Totale Dehnung]

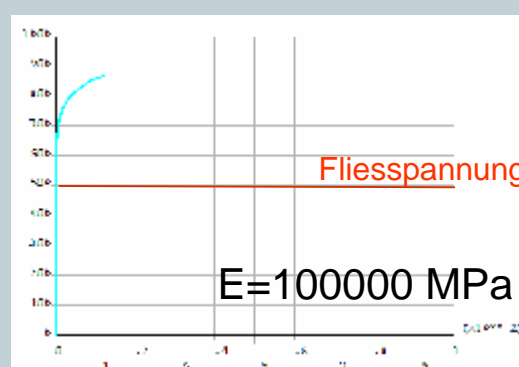
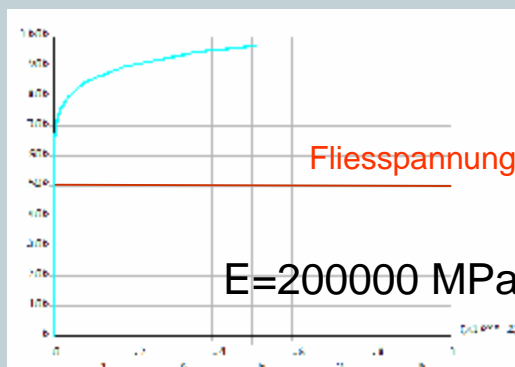


Diagramme aus /POST26; [Spannung / Plastische Dehnung]

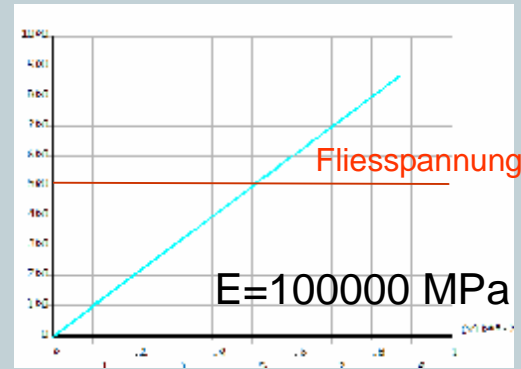
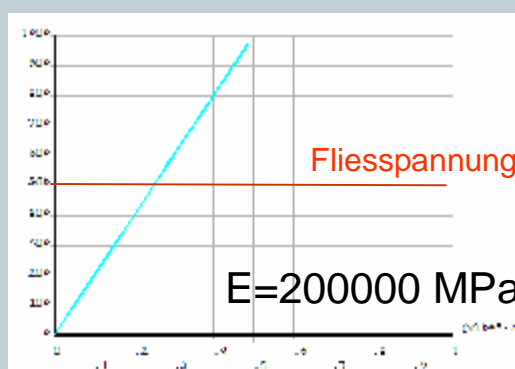


Diagramme aus /POST26; [Spannung / Elastische Dehnung]

Zur Definition von Plastizität in den Programmen ANSYS und Workbench

Antworten und Lösungen:

1. *Was ist hinsichtlich der Eingabe des E-Moduls zu beachten?*

Die Antwort auf obige Frage ist damit klar: Gar nichts !!!

Der Hintergrund ist auf der vorherigen Seite dargestellt worden.

Alle Bilder in der linken Spalte stammen aus der Berechnung mit $E=200000$ MPa, in der rechten Spalte stehen die Ergebnisse der Berechnung mit $E=100000$ MPa. Die Diagramme sind stets in derselben Skalierung gezeigt, die aufgebrachte Verschiebung war bei beiden Versuchen dieselbe.

Es zeigt sich, wie erwartet, bei den Diagrammen in der ersten Zeile, dass das Material auf der rechten Seite weicher ist als auf der linken. Der E-Modul kann als Steigung im elastischen Bereich angesehen werden. Dargestellt wurde hier [Spannung / Totale Dehnung].

Die Diagramme in der zweiten Zeile zeigen [Spannungen / Plastische Dehnungen] und diese entsprechen für beide Berechnungen der Eingabe. Die Wirkung des E-Moduls kann hier nicht erkannt werden.

Die Diagramme in der dritten Zeile zeigen [Spannungen / Elastische Dehnungen] und hier erkennt man dass sich nach Überschreiten der Fließspannung die elastischen Dehnungen auch noch fortentwickeln und zwar genau mit der Steigung, die durch den E-Modul vorgegeben war.

Das ist letzten Endes auch der Grund, warum man beim Arbeiten mit diesen Plastizitätsgesetzen völlig unabhängig bei der Wahl des E-Moduls für den numerischen Erfolg der Berechnung ist. Natürlich muss man mit Sorgfalt die Eingabedaten [Spannung / Plastische Dehnungen] ermitteln, womit wir uns hier ebenfalls befassen werden.

Interessant - aber nachzuvollziehen - ist, dass sich die plastischen Verzerrungen in der rechten Spalte nicht so weit entwickeln wie links. Das aber liegt nur an der schwachen Anfangssteigung, am kleineren E-Modul also, denn damit ist vorgegeben, wie stark der Einfluss der Plastizität später sein wird.

Bleibt also festzuhalten:

Wenn man mit der Eingabe [Spannungen / Plastische Dehnungen] arbeitet, spielt der E-Modul für den numerischen Erfolg keine Rolle mehr. Allerdings muss man korrekte Daten [Spannungen / Plastische Dehnungen] eingeben.

Zur Definition von Plastizität in den Programmen ANSYS und Workbench

Antworten und Lösungen:

2. Wie sind die Daten [Spannungen / Plastische Dehnungen] zu ermitteln?

Die Antwort auf diese Frage ist mit dem dargestellten Sachverhalt einfach:

- Man nehme ein Diagramm [Spannungen / Totale Dehnungen] und greife einzelne diskrete Wertepaare ab. Am besten man schreibt die Daten in EXCEL ein.
- Für jedes diskrete Datenpaar rechnet man

$$e_{pl} = e_{tot} - e_{el} = e_{tot} - \frac{S}{E}$$

3. Was macht Workbench mit den Daten aus der Version 9.0 in der Version 10.0?

Zur Antwort diene wiederum ein einfacher Test mit Fließspannung 200 MPa und einem E-Modul von 200000 MPa. Ergebnis: Die Daten werden richtig umgerechnet.

Structural Steel Plastic		Structural Steel Plastic	
▢ Structural Add/Remove Properties Young's Modulus 2,e+005 MPa		▢ Structural Add/Remove Properties Young's Modulus 2,e+005 MPa	
Stress vs. Strain		Stress vs. Plastic Strain	
	Strain	Stress MPa	
1	0,	0,	Plastic Strain mm/mm
2	1,e-003	200,	1
3	1,208e-002	215,96	2
4	2,6401e-002	229,78	3
5	5,0015e-002	245,95	4
6	7,5201e-002	258,16	5
7	0,1062	265,83	6
8	0,1426	269,34	7
9	0,188	272,29	8
10	0,252	277,03	9
			*

Workbench 9.0

Workbench 10.0

Nehmen wir die Zeile mit Spannung von 269,34 MPa und rechnen:

$$e_{pl} = e_{tot} - e_{el} = e_{tot} - \frac{S}{E} = 0,1426 - \frac{269,34}{200000} = 0,14125$$

Zur Definition von Plastizität in den Programmen ANSYS und Workbench

Schlussbemerkung und Ausblick:

Geometrisch lineare und nichtlineare Berechnungen

Wir wollen nicht verschweigen, dass wir in diesem Beitrag immer eine geometrisch lineare Berechnung angenommen haben (ANSYS Kommando: NLGEOM,OFF). In Workbench wären die „Großen Verformungen“ auf „Aus“ zu setzen.

Wenn man in Wirklichkeit große Verzerrungen erwartet, ist eine geometrisch nichtlineare Berechnung durchzuführen (ANSYS Kommando: NLGEOM,ON). In Workbench wären dann die „Großen Verformungen“ auf „An“ zu schalten.

In dem Zahlenbeispiel auf der vorherigen Seite liegen mit etwa 14% plastischen Verzerrungen sicher schon große Verzerrungen vor. Möchte man dann geometrisch nichtlinear rechnen, erwartet das Programm Datenpaare in Form von [Wahren Spannungen / Logarithmischen Dehnungen].

Insofern wären die ermittelten Paare [Ingenieurs-Spannungen / Ingenieurs-Dehnungen], wie wir sie hier immer angenommen haben, noch zu transformieren. Die Formeln zur Umrechnung sind bekannt (CADFEM-Support, Nichtlinearitäten-Seminar).

Es ist schwierig einen eindeutigen Zahlenwert anzugeben, ab dem man eine Verzerrung als „groß“ bezeichnet. Es kommt immer auch auf das angegebene Material an. Am besten sieht man den Unterschied, wenn man sich beide Kurven [Wahre Spannungen / Logarithmische Dehnungen] auf der einen Seite und [Ingenieurs-Spannungen / Ingenieurs-Dehnungen] auf der anderen Seite einmal ermittelt und miteinander vergleicht.