Kapitel 26: Kontakt-Analyse einer Glas-Balustrade und einer Verbundglasplatte

Teil 1: Kontakt-Analyse einer Glasplatte

Die Glas-Balustrade-Baugruppe besteht aus einer Glasplatte, Aluminium-Halterung und einem U-Stahlprofil. Welche Verformungen und Spannungen entstehen wenn die linke Seite mit 1000 N belastet wird. Die Halterung ist in dem U-Profil fest eingespannt. Das U-Profil wird nicht berechnet da dort die Spannung sehr gering ist.

Baugruppe



Glasplatte

Mit den Maßen 1333 mm x 400 mm x 15.33 mm besteht aus 45 864 Tetraedern und 10 804 Knoten die mit dem 3D-Netzgenerator NETGEN generiert wurden.



Aluminium-Halterung

besteht aus 44 928 Tetraedern und 10 354 Knoten die mit dem 3D-Netzgenerator NETGEN generiert wurden.



FEM-Zuladung

Wählen Sie das Register "Datei" und Menü "FEM-Zuladung" und vereinen die beiden Strukturen zu einem Haupt-Netz mit 90 792 Tetraedern, 21 158 Knoten und 2 Elementgruppen.



Erzeugung Lastfall 1

Die Glasplatte wird auf der linken Seite mit 1000 N belastet.

Zuerst muß das Flächenmodell mit Register "Ansicht" und dem Icon werden.

Wählen Sie Register "FEM-Projekt" und "Knotenbelastung" und erzeugen eine Knotenbelastung in X-Richtung mit dem Lastwert = 1 N (Eingabe 1 weil Anzahl Knotenpunkte noch unbekannt ist) indem Sie die Fläche 14 auf der linken Seite anklicken.

	Files View	Mesh Generation	Edit FEM-Project	FEM-Analysis Pos	tprocessing T	raining
oads	1. Point Load 1. Point Load 2. Line Load	Boundan	→ 1. Ba /-Conditions ☑ Sha	undary-Condition: * w Boundary-Conditions Surface Modus is ac	Element-Group tive - Surface= 14	s Material-Datas Editor 6.
	5. Gravitation Loa	id		🖳 Loads		- 0 ×
	 Centrifugal Loa Temperature Lo Nonuniform Lo Edit Load Case Editor 	ad Dads		Current Load Number of Va Value of Load	case: 1 Ilues: 0 I: 1	+ New (for example: N)
	×			Selection:	 in X Direct in Y Direct 	tion O in Z Direction tion Dragging a model region
Surface	e 14 DELETE CLEAR EDIT			O Select No O Define a	odes coordinate range	 Select all showing nodes Select all showing surfaces
기 Nor 기 Elei	des aces			-		
CAN	CEL CREATE				dit Load-Size	Color:
				Cancel	Editor	Create a Point Load
0.00						

Lastfall-Faktor

Wählen Sie "Editor" und multiplizieren Sie den Lastwert mit dem Last-Faktor 2.82 der sich aus 1000 N / 355 berechnen läßt.

erzeugt

				Surface P	/lodus is a	ctive - Surface= 14	+			
1	Edit Loads			- 0	×					
	Nr.	Node	FHG	Value	^					
Ī	1	10356	1	2.82						
	2	10357	1	2.82						
	3	10359	1	2.82						
	4	10360	1	2.82						
	5	10409	1	2.82						
	6	10410	1	2.82						
	7	10411	1	2.82	-	Edit Loa	ad Case			×
	8	10412	1	2.82						
	9	10413	1	2.82		Actual I	oad Case: 1			
	10	10414	1	2.82		/istaile		t	-	
	11	10415	1	2.82			Factor: 2.82			
	12	10416	1	2.82						
-	-				_		multiply	🔘 divide		
lun	mber of Loads/Loa	ad Case: 355	Load Type: 1	Point Load	-	_	CANCEL	OK		
	Delete Lo			Care Load Cases	_					
_	Delete Lo	ad Case		Copy Load Case						
	Load I	actor	Convert	emperature to a Load Ca	se					
	Pressure->	Point Load		Change FHG						
	Detet Lond	dian Land								

Knotenbelastung mit Lastfall 1 sollte zu sehen sein:



Erzeugung Lastfall 2 mit der MASTER-Kontaktfläche

Lastfall 2 ist die MASTER-Kontaktfläche zwischen Glasplatte und Halterung. Wählen Sie "FEM-Projekt" und "Flächenlast" um eine Flächenlast "senkrecht zur Fläche" mit Surface 3 und 6 zu erzeugen. Der Lastwert kann einen beliebigen Wert haben da er hier nicht benötigt wird.

Files View Mesh Generation Edit FEM-Project FEM-Analys	sis Postprocessing Training
3. Surface Load ↓ 1. Boundary-Conditions Loads ☑ Show Loads Boundary-Conditions ☑ Show Boundary-Conditions	tion: • conditions Element-Groups Material-Datas Editor 6. Loads Temperature
Surface 3 Surface 6 DELETE CLEAR EDIT	
 ✓ Nodes ✓ Surfaces ✓ Elements ✓ Edges 	🖳 Loads — 🗆 X
CANCEL CREATE	Current Loadcase: 2 • Number of Values: 9516 New Value of Load: .5 • in MPa • or in N Load in N Iffo • • Degrees: • in X Direction • in Z Direction • in Y Direction • in Z Direction • • Select Surfaces • Dragging a model region • • Select Nucles • Select all showing surfaces • Define a coordinate range • Select all showing surfaces
	Calculate Value of Surface Load SL-Color:
7	Delete Loads

Obere Master-Kontaktfläche 3



Untere Master-Kontaktfläche 6

Erzeugung Lastfall 3 mit der SLAVE-Kontaktfläche

Lastfall 3 ist die SLAVE-Kontaktfläche für die zweite Kontaktdefinition zwischen Glasplatte und Halterung. Zuvor blenden Sie noch die Elementgruppe 2 mit Menü "Element Gruppen" aus sodaß nur noch die Halterung zu sehen ist.



Wählen Sie "FEM-Projekt" und "Flächenlast" um eine Flächenlast "senkrecht zur Fläche" mit den 9 Halterung-Surfaces zu erzeugen (siehe schwarze Flächen).



Halterung einspannen

Die Halterung ist in dem U-Profil fest eingespannt. Wählen Sie Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "Randbedingungen" um die 6 Surfaces der Halterung fest einzuspannen.

Soundary-Condition:	nent-Groups Material-Datas Editor
🛃 Boundary Conditions — 🗆 🗙	
Number of Boundary Conditions 7590 New	
Value of Poundary 1E 10	
	Heldidek in the first
in X Direction in Z Direction	
in Y Direction I Clamped fixed	
Selection:	A A A A A A A A A A A A A A A A A A A
Select Surfaces O Dragging a model region	L H. J. L.
O Select Nodes O Select all showing nodes	특별한 관계 관계 한 가지 않았다. 이 가지 않는 것은 아이가 하는 것은 것은 가지 않았다. 이 가지 않는 것은 것을 하는 것은 것을 하는 것은 것을 하는
O Define a coordinate range O Select all showing surfaces	
Edit BC-Symbols-Size	
	falatalas
Tum BC-Symbols Colors:	
Cancel Editor Create BCs	
Delete BCs	

Materialdaten

Wählen Sie Register "FEM-Projekt bearbeiten", "Materialdaten" und "Material-Datenbank" um die Materialdaten für die Glasplatte mit einem E-Modul von 75 000 N/mm² und einer Poisson-Zahl von 0.17 und für die Alu-Halterung mit einem E-Modul von 71 000 N/mm² und einer Poisson-Zahl von 0.17 einzugeben.

	01																
9	Files	View	Mesh G	eneration	Edit FEM-P	roject	FEM-Ar	alysis Po:	stprocessing	Trai	ning						
F Loads	3. Su	irface Loa ow Loads	+ t	Boundary	-Conditions	1. Bou Shov	ndary-Co v Boundai	ndition: 👻 y-Conditions Info	Element- Line	Groups	Material-Datas	Ed	6. Loads		Ť	emperature	
🖳 Ed	it Materia	al Datas				1 X											
•	Name Youngs r	nodulus	Material Da 75000	itas	🖳 Mater	ial Data B	ase										
	Poisson I Density	Ratio	.17 2.200002E	-06	Material:		Alumini	um] Der	nsity (kg/mm³):		2.7000026214	8073E-	06] Specifi	ic Heat Ca
•	Heat Coe	fficient	5.4E-06		E-Modulus (Poisson Rat	(MPa): io:	0.34			Hea Hea	at Coefficient: at Conductivity (W,	/mmK):	0.2300000109	24414]	Sort by:
					Add	Delete	Save	Take Mate	: Up erial		Load Data Base	•	Save D	ata Bas	e	O Meter	۲
						Material		Young N	Aodulus		Poisson-Value		Density		Heat (Coefficient	
Bem	ent Group leotrop detrop toropy h	o: 2 o al Data Bas	Element C e	TET10) Anisotrop	Aumnihum Bronze Celluiola Certuiola Cilicium Cinker Constante Glass Ou Glass Ou Hor Magnesic Nickel Sh Nickel Sh Nickel Sh PBT Ultra PBT Ultra PBT Ultra PBT Ultra PBT Ultra Polystyrio Porcellan Rubber M	in Indow Glas Innical m M STIN T84 STIN T84 STIN T84 State STIN T84 State Stat	▲ IFR GF-1C ▼	71000 71000 51000 25000 27000 27000 27000 27000 27000 27000 210000 210000 210000 210000 210000 210000 210000 210000 210000 210000 210000 25000 25000 205000 205000 205000 205000 205000 205000 2000		$\begin{smallmatrix} & 0.34 \\ 0.44 \\ 0.3 \\ 0.29 \\ 0.28 \\ 0.28 \\ 0.28 \\ 0.28 \\ 0.28 \\ 0.28 \\ 0.28 \\ 0.28 \\ 0.28 \\ 0.27 \\ 0.42 \\ 0.37 \\ 0.42 \\ 0.37 \\ 0.42 \\ 0.37 \\ 0.42 \\ 0.37 \\ 0.44 \\ 0.37 \\ 0.42 \\ 0.36 \\ 0.29 \\ 0.32 \\ 0.44$		 28 00022 66022 22222 222	70003E-06 700008E-06 800003E-06 800003E-06 800003E-06 800003E-06 800003E-06 800003E-06 900002E-06 920002E-06 920002E-06 920002E-06 920002E-06 920002E-06 930005E-07 90001E-06 900001E-06 940001E-06 940001E-06 940001E-06 94001E-06 94001E-06		0.000239 0.00017 0 0.00017 0.00012 0.00012 0.000012 0.000012 0.000014 0.000014 0.000014 0.000014 0.000014 0.000014 0.000014 0.000014 0.000015 0.000014 0.000015 0.000015 0.000013 0.000014 0.000015 0.000005 0.000015 0.000005 0.000005 0.000005 0.000005 0.000005 0.000005 0.000005 0.000005 0.000005 0.000005 0.000005 0.000005 0.000005 0.000005 0.000005 0.000005 0.000005 0.0000005 0.0000005 0.00000000		▲ 23 .058 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Kontakt-Analyse

Wählen Sie Register "FEM-Analyse" und Menü "Kontaktbedingungen" um die Verformungen und Spannungen mit dem Quick-Solver zu berechnen.

Files View Mesh Generation Edit F	EM-Project	FEM-Analysis	Postprocessing	Train
6. Contact-Analysis Select FEM-	Solver Mode	ture Model el Dimensions		
FEM-Analysis 🕞 Select FE	M 🕞 Str	ucture Info 🕞	FEM-Assistent 🕞	
🖳 Contact-Pressure		- 0	×	
C:\projekte\witroplena\neu\glass1.fem				
PRESSURE-OVERCLOSURE=LINE/	AR			
PRESSURE-OVERCLOSURE=EXPO	TENTIAL			
Swap Mastersurface <-> Slav	vesurface (Loadca	se 2 - 3)		
Start Contact-Calculatio	n with Quick-Solv	er		
Start Contact-Po	stprocessing			
Cance	el			

Die Kontakt-Analyse benötigt ca. 15 Iterationen für die Berechnung. Die Rechenzeit für das lineare TET4-Element beträgt ca. 2 Minuten und die Rechenzeit für das quadratische und genauere TET10-Element benötigt ca. 10 Minuten.

FEM-Proje Please sta	ect: C:\projekte\VITROP~1\neu\glass2 art the postprocessor	
	Start Posprocessing MEANS V11	
Beep-Voi	Runtime: 0:0:1:0:532	Cancel
iteration	n 15	
Number of Using up	f contact spring elements=32140 to 1 cpu(s) for the stress calculation.	
Using up	to 1 cpu(s) for the symmetric stiffness/mass contributions.	
Factoring Using up	g the system of equations using the symmetric spooles solver to 1 cpu(s) for the stress calculation.	
ine searc	ch factor=1.000000	
Using up	to 1 cpu(s) for the stress calculation.	
average f time avg.	force= 44.669770 . forc= 44.669770	

Postprocessing



um die

Wählen Sie Register "Ergebnisauswertung" und das Icon Ergebnis-größen wie Verformungen und Spannungen auszuwerten.

Image: Provide state of the stateoo of the state of the stateoo of the state of the state of	esh Generation Edit FEM-Project FE	M-Analysis Postprocessing Training
Postprocessing	Displacement-Factor Pick, Search Values Factor/Values S Legend/Diagram	DXF-Postprocessing FEM INP Value-Animation * STA FRD Fix Animations Fix List Files Fix Fatique-Analysis
	Postprocessing Results:	Load Case: 1

Max. X-Verformung = 74 mm (exakt = 72 mm mit fester Einspannung)

📆 Demo i	EM System MEAN	NS V12 - FEM Soutture File Charopteni glazofitem	- a ×
•	iles View	Mark Generation Intel FMA-Roset FMA-Asahos Restorceration Tables	
	Show Results	Dipplecement-Factor Legend • DDF-Postprocessing FEM NP PIck, Search Value Diagram 1 • Value-Animation • STA FRD PICA-Riccharine for wel •	
Po	stprocessing	rs Factor/Values rs Legend/Dagram rs Animations rs List Files rs Fatique-Analysis rs	
LOAD CA	SE= 1		
in x direc	tion		
	74.569	$Exactly: vx = F^*L^2/E^*I$ = 1000 N * 1250* mm ² * 12 (* 75500 N/mm ² * 400 mm * 15 ² mm ²)	
	63.915	= 77 mm	
	53.261		
	42.000		
	31.302		
	10 644		
	-0.0100		
Eart	<u> </u>		
Y	Z		
	1		
	+		
	×		

Max. v.Mises-Spannung der Glassplatte = 88 N/mm² (exakt = 79,8 N/mm²)



Max. Zugspannung der Aluminium-Halterung = + 57 N/mm² Min. Druckspannung der Aluminium-Halterung = -71 N/mm²



Teil 2: Lineare Statik-Analyse einer Verbundglasplatte

Die vorige Glasplatte 1333 mm x 400 mm x 15.33 mm wird jetzt als Verbundglas mit einem 3-schichtigen Aufbau und folgenden Materialdaten berechnet:

Glasscheibe 1:	Dicke = 6 mm	E-Modul = 75 000 N/mm ²	P = 0.17
PVB-Folie:	Dicke = 3.33 mm	E-Modul = 3 N/mm ²	P = 0.498
Glasscheibe 2:	Dicke = 6 mm;	E-Modul = 75 000 N/mm ²	P = 0.17



Schicht 1 erzeugen

Glasscheibe 1 mit den Maßen 1333 mm x 400 mm x 6 mm wird zuerst im CAD-System eingegeben und als STEP-File abgespeichert. Wählen Sie in MEANS V12 Register "Datei" und Menü "Neu" und wählen "3D-Netzgenerator GMSH (STEP).



GMSH ist ebenfalls wie NETGEN ein sehr leistungsfähiger STEP-Tetraeder-Netzgenerator mit einer sehr einfachen Bedienung.

Wählen Sie Menü "3D" um zuerst ein grobes Tetraeder-Netz aus 256 Elementen und 112 Knoten zu generieren wobei obere und untere Netzdichte gleich sein sollten.



Refine by splitting

Die Netzverfeinerung wird erst später in MEANS V12 durchgeführt. In GMSH kann man aber auch mit Menü "Refine by splitting" das Netz 8x feiner vernetzen.



Export im INP-Abaqus-Format

Wählen Sie Menü "File" und "Export" sowie "Mesh - Abaqus INP (*.inp)" und exportieren das INP-File mit gleichem Namen damit es automatisch in MEANS V12 eingeladen und dargestellt wird.



Die Glasscheibe wird in MEANS V12 automatisch dargestellt und hat eine Z-Tiefe von 0 mm bis 6 mm.



Netz glätten

Damit das Netz von 1250 mm bis 1333 mm eingespannt werden kann erzeugen Sie folgenden Knoten-Koordinatenbereich von X = 1150 mm bis X = 1300 mm und



ersetzen mit "Koordinaten-Faktor" alle X-Werte des Knotenbereiches mit 1250 mm.

Koordinater
Koordinater
Koordinater erwenden
Koordinater

Das Netz kann hat später nun von 1250 mm bis 1333 mm exakt eingespannt werden. Speichern Sie dieses Modell unter dem Namen "Schicht_1.fem" ab.



Schicht 2 erzeugen

Um die PVB-Folie in die Mitte zu verschieben wählen Sie Register "Ansicht" und

Faktor setzen :	
🔘 multiplizieren	O dividieren
addieren	⊖ ersetzen
Achsen vertauschen	
O X-Werte mit Y-W	erte vertauschen
O X-Werte mit Z-W	erte vertauschen
O Y-Werte mit Z-W	erte vertauschen
Koordinaten mit Faktor	verändem Y-Koordinaten Z-Koordinaten
nur die angezeig	ten Knoten im Knotenmodus verwenden
von Knotenpunkt:	1
bis Knotenpunkt:	112
Koordinatenfaktor:	6

"Knoten-Modus" sowie "Koordinaten-Faktor" und addieren 6 mm in Z-Richtung. Dannach wählen Sie Register "FEM-Analyse" und "Modell-Abmessungen" um die neue Z-Tiefe von 6 mm bis 12 mm zu überprüfen.

🛃 Abmessungen		-		×
Abmessungen o	der eingeblen	deten Elemente	gruppen	
Breite: von	0 mm	bis	1333	mm
Höhe: von	0 mm	bis	400 m	m
Tiefe: von	6 mm	bis	12 mn	n

Knotenbereich der oberen Fläche verschieben

Die Knoten der oberen Fläche müssen von 12 mm auf 9.33 mm subtrahiert werden. Erzeugen Sie dazu im Knoten-Modus einen Knotenkoordinatenbereich von 11.8 mm bis 12 mm.



Dannach wählen Sie Koordinaten-Faktor und addieren in Z-Richtung den Wert -2.67 mm um den Wert 9.33 mm zu erhalten. Mit Menü "Modell-Abmessungen" kann die Eingabe wieder überprüft werden. Speichern Sie das Netz mit "Schicht_2.fem" ab.

Schicht 3 erzeugen

Laden Sie das erste Modell "Schicht_1.fem" wieder ein und addieren mit einem Koordinaten-Faktor von 9.33 mm alle Z-Werte. Speichern Sie das Netz mit der Z-Tiefe von 9.33 mm bis 15.33 mm als "Schicht_3.fem" ab.

🛃 Abmessungen		—		×
Abmessungen	der eingeblende	eten Elemen	tgruppen	
Breite: von	0 mm	bis	1333 mm	n
Höhe: von	0 mm	bis	400 mm	
Tiefe: von	9.33 mm	bis	15.33 mr	n

Schichten zusammenfügen

Laden Sie mit Register "Datei" das erste Netz "Schicht_1.fem" wieder ein und laden mit Menü "FEM-Zuladung" die Netze "Schicht_2.fem" und "Schicht_3.fem nacheinander ein, sodaß ein Hauptnetz mit 3-Schichten ensteht. Wählen Sie Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "Elementgruppen" um das FEM-Netz aus 3 Elementgruppen darzustellen.

0	📍 🔯 😑						
Dat	tei Ansicht	Netzgenerierung	FEM-Projekt bearbeiten	FEM-Analyse	Ergebnisauswertung	Training	
Eelastunger	1. Knotenbel Belastunger	astung 👻 n darstellen Rand	bedingungen	dingungen 🔹	Elementgruppen	Materialdaten	Editor 6
		1	F	lächen-Modus aktiv	riert - Fläche= 6		
EG= 3							
⊠ ON	EG= 1						
Ø ON	EG= 2						
⊠ ON	EG= 3						
🖾 ON	EG=4						
⊠ ON	EG=5						
🗹 ON	EG=6						
⊠ ON	EG=7						
Für neue Farbe	auf Farbrahmen klicken						
🗹 als Drah	ntgitter sichtbar						
Refres	h Hidden-Line						

Knoten-Überlagerung

Führen Sie mit Register "Netzgenerierung" und "Knoten-Überlagerung" einen Knoten-Test mit dem Fangradius "3.2" durch um alle überlagerten Knoten zu löschen. Die Struktur besteht nun aus 768 Tetraedern und 226 Knotenpunkten.

sicht	Netzgenerie	erung FE	M-Projekt bear	beiten F	EM-Analyse	Ergeb	nisauswertu	ung Trair
genera letzveri	atoren feinerung			uad-Netze, V	erfeinern, Lösc	hen	Knoten-Üł Jacobi-Det	berlagerung terminante
t STEP,	STL, IGES 🕞	2D-Netzge	enerator 🕞	Netze r	nanipulieren	15	Netze	prüfen 🗔
	🛃 Bitte	warten			2 <u>8-8</u>		×	
	Ohne	Obemaïfuna:						
	Strukt	umodell hat 3	36 Knotenpunkte	und 768 Eler	nente sowie 3 E	Elementgn	uppen	
	Mit Ob	erprüfung:						
	Strukt	tumodell hat 2	226 Knotenpunkt	e und 768 Ele	mente sowie 3	Elementgr	uppen	
	Fangr	adius:	3.2					
	⊡ E	inzelne Knoten	punkte <mark>ohne ein</mark> e	e Element-Vert	indung löschen			
		Cancel	only Hidde	n-Line	Numerieru	ng prüfen		

Nachverfeinerung

Zum Schluß wählen Sie das Register "Netzgenerierung" und das Menü "Lokale Netzverfeinerung" sowie zweimal Menü "FEM-Netz alles 8x feiner" um die VSG-Scheibe mit 49 152 Tetraedern, 9541 Knotenpunkten und 3 Elementgruppen zu erhalten.



Erzeugung Lastfall 1

Die Verbundplatte wird auf der linken Seite mit 1000 N belastet. Zuerst muß das Flächenmodell mit Register "Ansicht" erzeugt werden. Dann wählen Sie Register "FEM-Projekt" und "Knotenbelastung" und erzeugen eine Knotenbelastung in Z-Richtung mit dem Lastwert = 1 N indem Sie die linke Fläche 4 anklicken.



Wählen Sie "Editor" und multiplizieren Sie den Lastwert mit dem Last-Faktor 5.92 der sich aus 1000 N / 169 berechnen läßt.

	ngungen 🗠 Kan	abeaingungen a	larstellen Elemen	tgruppen Materia	aldaten	Editor	Temperatur
		Hächen-Mo	dus aktiviert - Fläche	= 4			٦
•	Belastungen			- 0	×		
_	Nr.	Knoten	FHG	Wert	^		
Þ	1	1	3	-5.92			
	2	2	3	-5.92			
	3	3	3	-5.92			
	4	4	3	-5.92			
	5	9	3	-5.92			
	6	10	3	-5.92		🖳 Lastfall	- 0
	7	11	3	-5.92			
	8	12	3	-5.92		Alctualian Lastfall:	
	9	113	3	-5.92			`
	10	114	3	-5.92		Faktor= 5.92	
	11	117	3	-5.92			
	12	118	3	-5.92	~	 multiplizieren 	O dividieren
Aktu Anz	ueller Lastfall: 1	k	> Anzahl Las Lasttyp: 1	stfälle: 1 Knotenlast		CANCEL	ОК
	Neuer Lastfall e	erzeugen	Lastf	älle überlagem			
	Lastfall löso	chen	Lastfälle ac	ddieren und kopieren			
	Lastfall-Fa	ktor	Temper	raturlast einlesen			
	Flächenlast->Kr	notenlast	Freihe	itsgrade ändem			
	Knotenlast->Li	nienlast					

Einspannung

Die Verbundplatte wird von 1250 mm bis 1333 mm fest eingespannt. Wählen Sie Register "FEM-Projekt bearbeiten" sowie "Randbedingungen" und "Koordinatenbereich definieren" um die Platte fest einzuspannen.

Anzahl Randbedingung	gen aktuell:	1125	Neu		
Wert der Randbedingu	ng: 1E-1	10			
Freiheitsgrad sperren:					
	🗌 in X-	Richtung	🔲 in Z-Richti	ung	
	🗌 in Y-l	Richtung	Einspannu	ing	
Selectieren					
O Flächenmodus		◯ Rechtec	k <mark>aufspannen</mark>		
🔘 einzelne Knoten an	klicken	🔘 alle ange	zeigten Knoten	wählen	
Koordinatenbereich	definieren	🔘 alle ange	zeigten Surface	s wählen	
RB	Symbole um	idrehen RE	3-Farbe:		
Cancel	Symbole um Editor	idrehen RE	3-Farbe: RBs erzeu	igen	
Cancel	Symbole um Editor	ndrehen RE	8-Farbe:	igen	
Cancel	Editor	Indrehen RE	3-Farbe:	igen	
Cancel	Symbole um Editor 	Indrehen RE	3-Farbe:	igen	
Cancel	Editor 	Image: drehen RE	3-Farbe:	igen	
Cancel Cancel von X: 1250 von Y: 0 von Z: 0	Editor bis X: bis Y: bis Z:	Indrehen RE Image: Im	RBs erzeu	igen	

Zum Schluß folgen die Eingabe der Materialdaten der 3 Elementgruppen und die Statik-Analyse mit dem Quick-Solver wie bereits in Teil 1 beschrieben worden ist.

Ergebnisse

Es folgt ein Ergebnisvergleich zwischen einer monolithischen Glasscheibe und der 3-schichtigen Verbundglasplatte mit 2 Glasscheiben und einer PVB-Folie.



Max. Z-Verformung monolithischen Glasscheibe = -72.23 mm (exakt = 72 mm)







Max. v.Mises-Spannung = 85.2 N/mm² der monolithischen Glasplatte

Max. v.Mises-Spannung = 222 N/mm² mit 3-schichtiger Verbundglasplatte



Verbundglas-Effekt

Die lineare Statik-Analyse gilt nur bis zur Bruchspannung - darum kann leider nicht berücksichtigt werden, daß nach dem Bruch die Glassplitter an der Folie haften bleiben und damit das Tragverhalten wieder erhöhen. An diesem Effekt wird heute besonders an Auto-Windschutzscheiben geforscht.

Teil 3: Glasplatte mit Tischbeinen verbinden und berechnen

Die Tetraeder-Glasplatte wird mit 4 Pentaeder-Alu-Tischbeinen verbunden und berechnet.



Der Knoten-Abdruck der Tischbeine bei Z= 0 muß in das Glasplatten-Netz eingefügt werden damit Glasplatte und Tischbeine vereint werden können.



Schritt 1: Knotenbereich erzeugen

Laden Sie das FEM-Netz der Tischbeine ein und wählen Register "Ansicht" und Menü "Knoten-Modus" und im linken Menüfeld "Flächenknoten" um einen Knotenbereich für die Surfaces 3, 5, 7 und 13 bei Z = 0 zu erzeugen.



Schritt 2: Neue Add-List erzeugen

Wählen Sie Register "Netzgenerierung" und "Lokale Netzverfeinerung" sowie Menü "Neue Add-List erzeugen" und speichern den Knotenbereich unter "tab14.Node" ab.

3	chritt 1: Knotenliste des aktuellen FEM-Netz erstellen	
Add-List erzeugen		includes days TET Manham
Schritt 2: Knotenbereich erzeugen	Schritt 3: Add-List erzeugen	elpunkte der TET-Flächen
Schritt 4: Vernetzen mit Add-List	Add-List wählen: Actual Add-List 🗸 🗌 Mitte	elpunkte der TET-Volumen
ereits erstellte Add-List einfügen		
ereits erstellte Add-List einfügen Neue Add-List erzeugen	Knoten aus FEM-File einfügen Knot	ten aus .Node File einfüge
ereits erstellte Add-List einfügen Neue Add-List erzeugen Vemetzen mit Add-List	Knoten aus FEM-File einfügen Knot von Knoten: 3654 bis Knoten:	ten aus .Node File einfüge 4793
ereits erstellte Add-List einfügen Neue Add-List erzeugen Vemetzen mit Add-List	Knoten aus FEM-File einfügen Knot von Knoten: 3654 bis Knoten: 4	ten aus .Node File einfüge 4793

Schritt 3: Knotenliste des aktuellen FEM-Netzes erstellen

Die Glasplatte wieder einladen und mit Menü "Lokale Netzverfeinerung" und "Schritt 1: Knotenliste des aktuellen FEM-Netzes erstellen" die Anzahl der Knoten und Elemente vor dem Einfügen der Add-List merken.

Schritt 4: Knoten aus .Node File einfügen

Dannach die Knotenliste der Tischbeine mit Menü "Knoten aus .Node File einfügen" einladen und am Modell prüfen ob die Knoten korrekt dargestellt werden.

Schritt 5: Vernetzen mit Add-List

Jetzt mit Menü "Vernetzen mit Add-List" den Netzgenerator aufrufen um die zusätzlichen Knoten der Tischbeine in das FEM-Netz der Glasplatte einzufügen.

Man erhält eine neue Glasplatte mit dem Knoten-Abdruck der Tischbeine



Schritt 6: Pentaeder-Netz in ein Tetraeder-Netz umwandeln

Bestehen die Tischbeine aus extrudierten Pentaedern muß vor der Zuladung mit Register "Netzgenerierung" und Menü "HEX8/PEN6 -> TET4" zuerst das Pentaeder-Netz in ein Tetraeder-Netz umgewandelt werden.



Schritt 7: FEM-Zuladung

Dannach mit Register "Datei" und "FEM-Zuladung" das Netz der Tischbeine zur Glasplatte nachladen und zum Schluß mit Register "Netzgenerierung" und Menü "Knoten-Überlagerung" die überlagerten Knoten aus der Struktur herauslöschen.

Glasplatte und Alu-Tischbeine sind nun in einem FEM-Netz mit 2 Elementgruppen vereint.



CAD-Baugruppen zusammenfügen

Auf diese Weise lassen sich moderate CAD-Baugruppen mit unterschiedlichen E-Modulen schrittweise zusammenfügen und berechnen.



Ergebnisauswertung

Folgende Ergebnisse erhält man wenn die Glasplatte mit 100 kg Gewicht belastet wird und die Tischbeine eingespannt sind.



Maximale Verformung in Z-Richtung = -7.17 mm

Maximale v.Mises-Vergleichsspannung = 41 N/mm²





Minimale Hauptspannung S3 = - 48 N/mm²

Maximale Schubspannung TAUxy = 9.3 N/mm²

