

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

Herstellerangaben:

- Fahrzeug Low-Liner absenkbar N2
- VIN: WV3ZZZ7JZ9X011297
- VW T5-Chassis Version 1 und Version 2

Ziel der Untersuchung: Stabilität der Version 1 mit der Stabilität der Version 2 verglichen. Den Vergleich in einer % Größe auswerten.

Beschreibung der Version 1: In der Version 1 sind Querträger nach der FGS Zeichnungsnummer 733367 verbaut. Siehe dazu die Abbildung 1, 2.

Version 1

VW T5 -Chassis

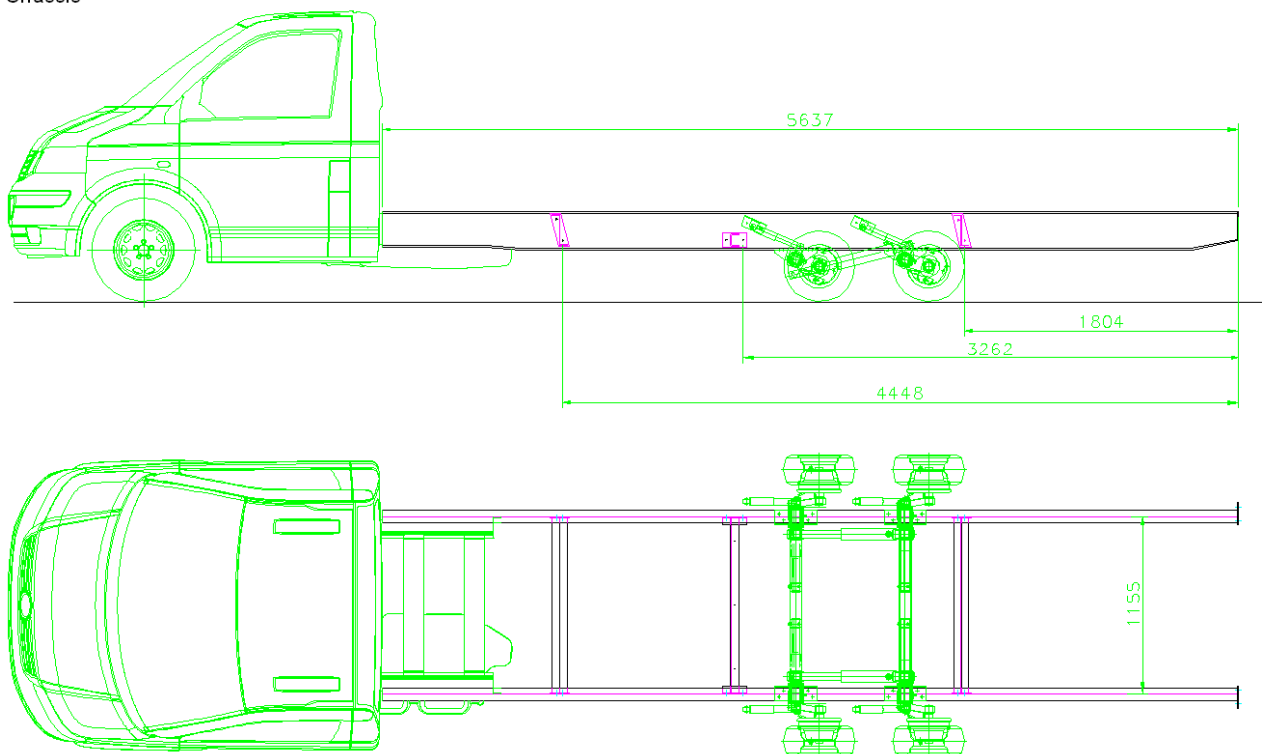


Abbildung 1.: Version 1 des Fahrzeuges.

Protokoll-Nr.:	P039/SK/VIS-2009
----------------	------------------

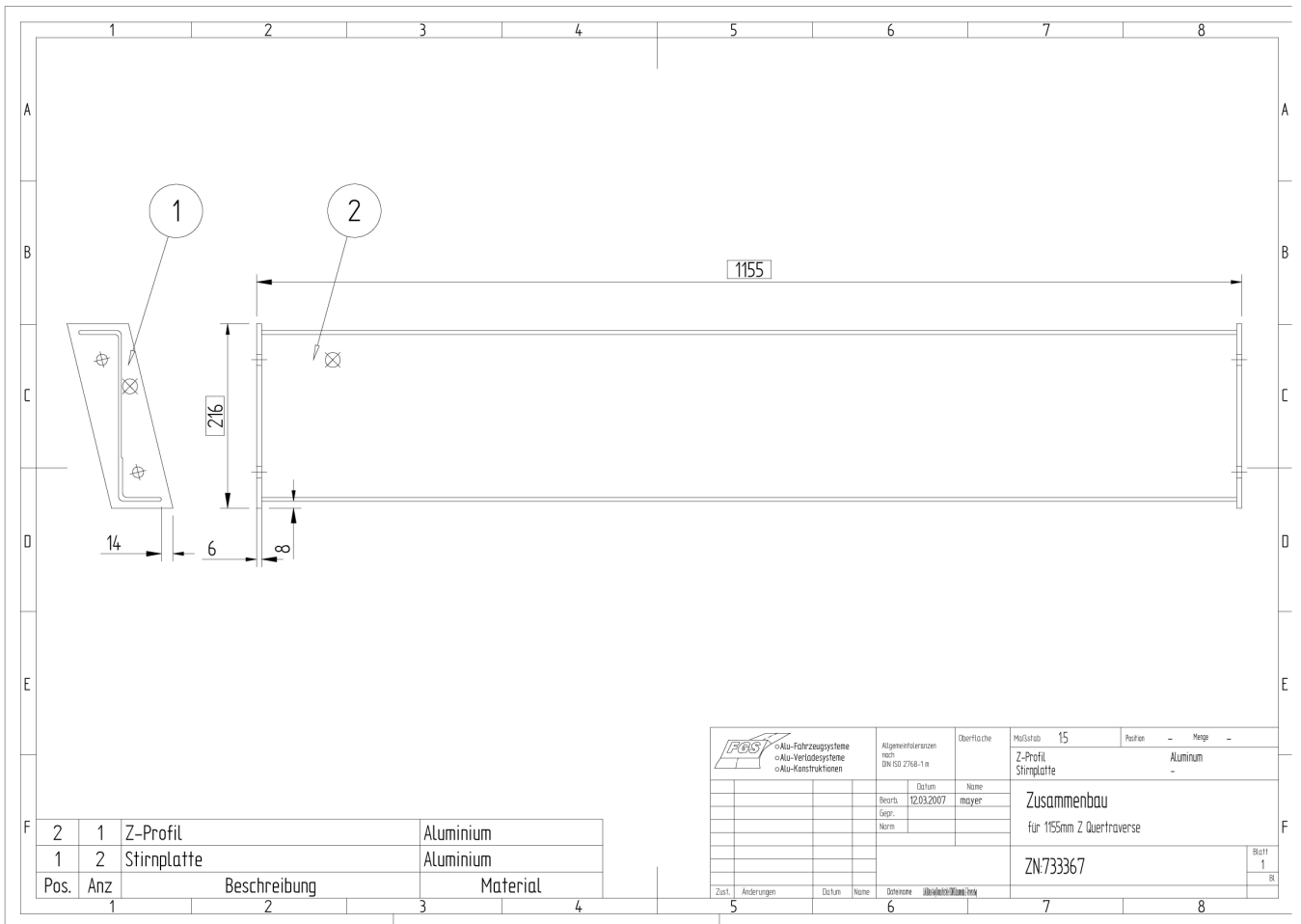


Abbildung 2.: Der verbaute Querträger in der Version 1

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

Beschreibung der Version 2: In der Version 2 sind Querträger nach der FGS Zeichnungsnummer 738413 verbaut. Siehe dazu die Abbildung 3, 4, 5. Der neue Querträger 738413 sollte die Stabilität der Version 2 im Vergleich zu der Version 1 verbessern.

Version 2
VW T5 -Chassis

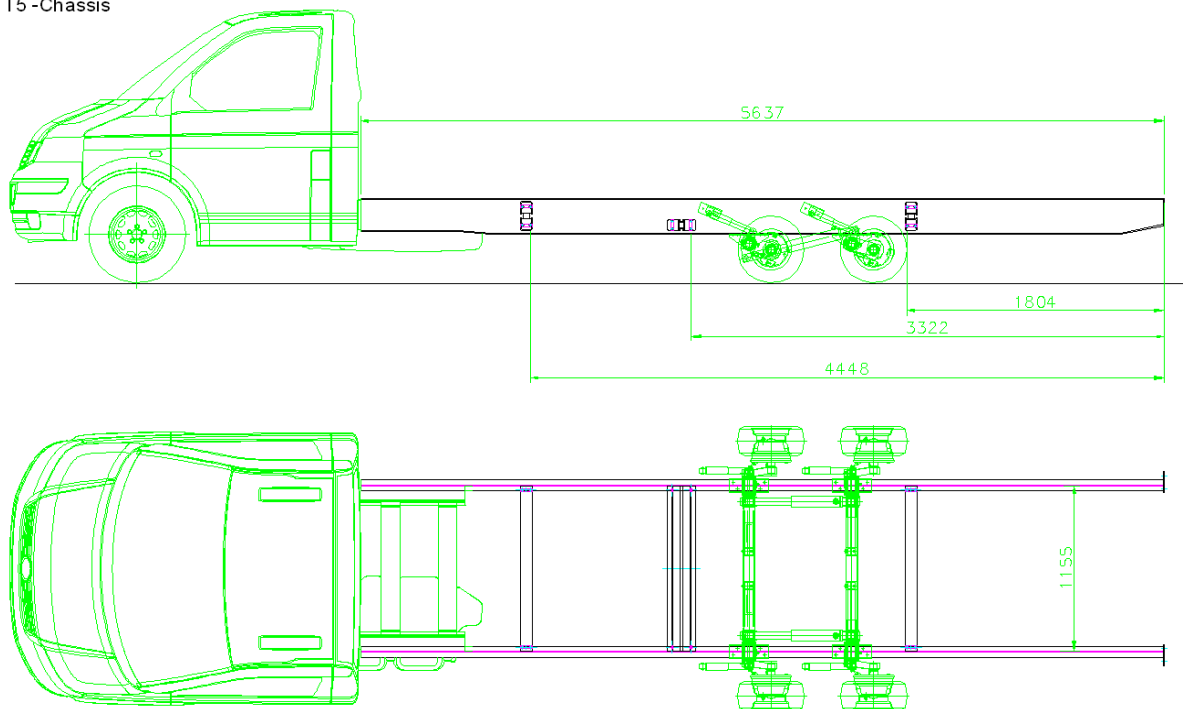


Abbildung 3.: Version 2 des Fahrzeuges.

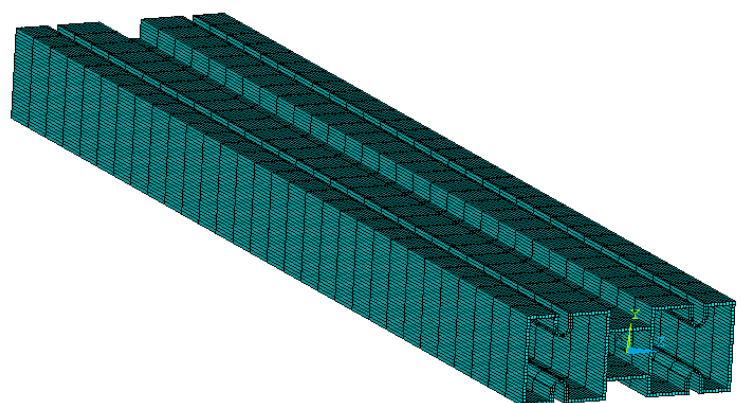


Abbildung 4.: Der neue von FGS verbesserte Querträger. 3D Model des Querträgers für eine FEM Analyse.

Protokoll-Nr.:	P039/SK/VIS-2009
----------------	------------------

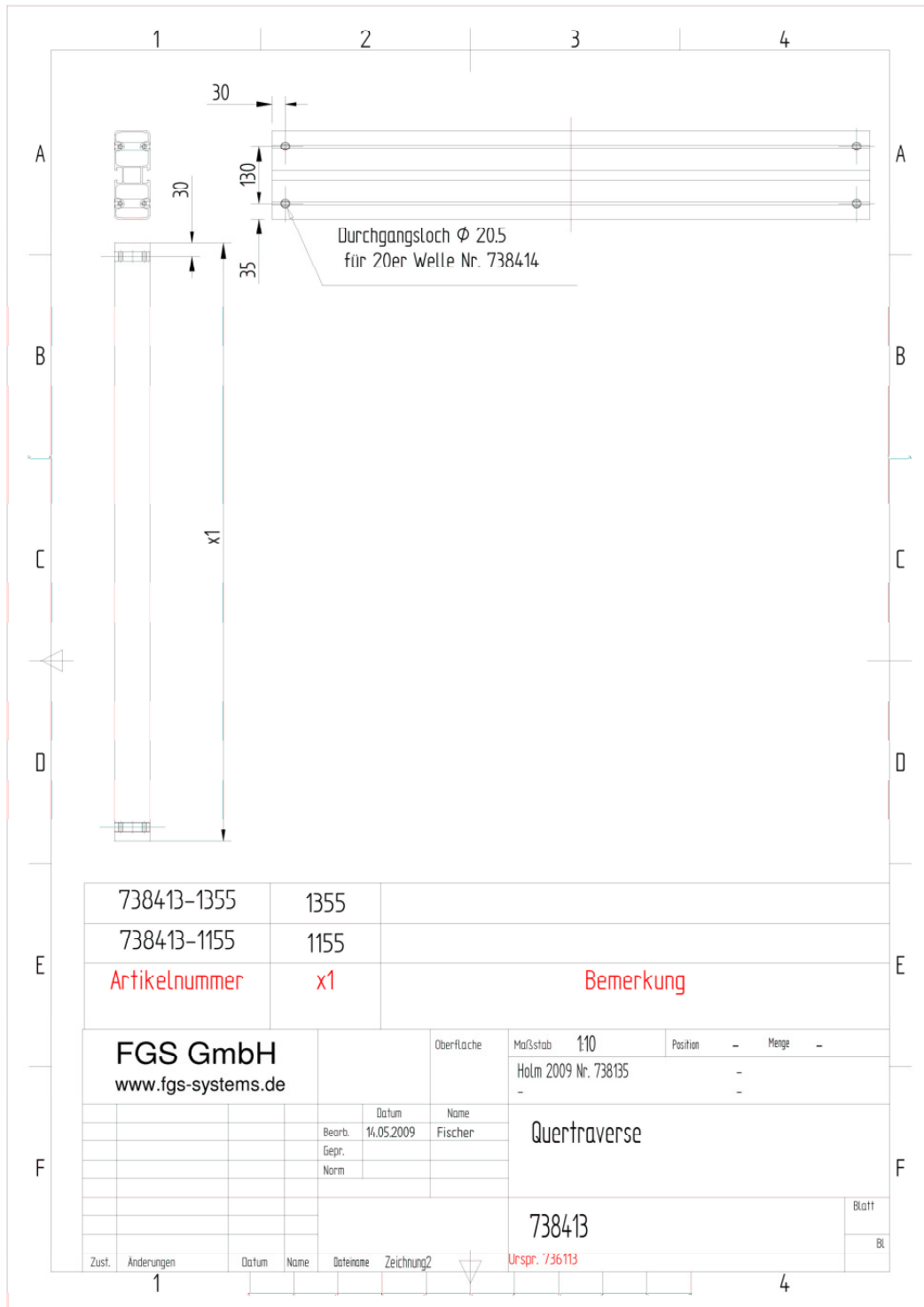


Abbildung 5.: Der neue von FGS verbesserte Querträger.

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

Beschreibung der Untersuchung: Für eine Stabilitätsuntersuchung des FGS-Fahrzeugrahmens wurde folgende Reihenfolge von UNI Bratislava empfohlen:

1. Modalanalyse Nr.1 des FGS-Fahrzeugrahmens für Version 1 und Version 2. (Berechnung der Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen)
2. Modalanalyse Nr.2 des FGS-Fahrzeugrahmens für Version 2, wobei die Befestigungsschrauben der Querträger einen Verdrehungsfreiheitsgrad zugelassen bekommen haben. (eine Simulierung der Schraubenlockerung).
3. Belastung des FGS-Fahrzeugrahmens mit einem Kräftepaar in der Größe 2000N, damit die 1. Eigenfrequenz und damit auch die 1. Eigenschwingungsform näher untersucht werden kann. Durchgeführt für die Version 1 und die Version 2.

1. Beschreibung der Modalanalyse Nr.1: Aus dem Fahrbetrieb wirken über die Reifen weiter an das Fahrzeug die Frequenzen, die über die Fahrunebenheiten erzeugt sind. Diese Erregungsfrequenzen sind von der Straßenqualität abhängig. Es wurde experimentell ermittelt, dass die Frequenzen aus dem Fahrbetrieb zwischen 2Hz bis 6 Hz für eine normale Straße (Autobahn, eine Straße der 1. Klasse) liegen. Umso mehr Unebenheiten auf der Straße umso höher kann die Erregungsfrequenz sein. Es ist sehr wichtig zu wissen, dass immer die 1. Eigenfrequenz der Rahmenkonstruktion die schlimmste Frequenz für die ganze Konstruktion des Fahrzeugrahmens ist, deshalb ist sehr wichtig, dass die Erregungsfrequenz nicht gleich als die 1. Eigenfrequenz des Fahrzeugrahmens ist. Es wäre erforderlich, dass die 1. Eigenfrequenz des Fahrzeugrahmens laut UNI minimal bei 15Hz liegt. Ab diesem Wert minimiert sich das Risiko, dass aus dem Fahrbetrieb die 1. Eigenfrequenz und damit auch die 1. Schwingungsform erzeugt werden. Umso höhere 1. Eigenfrequenz umso besser für die Stabilität des Fahrzeugrahmens (minimiert sich das Risiko der Resonanz). Die schraubare Befestigung der Querträger mit den Längsträgern wurde als eine fixe Verbindung modelliert (alle Freiheitsgrade wurden gesperrt).

Aus den Untersuchungen, die auf dem FGS-Fahrzeug Ford Transit (VIN WFOAXXTFA3Y14564) gemacht wurden, wurde mit Hilfe der linearen "Fast Fourier-Transformation (weiter FFT)" die Frequenz ermittelt-siehe die Abbildungen 6,7,8,9,10,11,12.

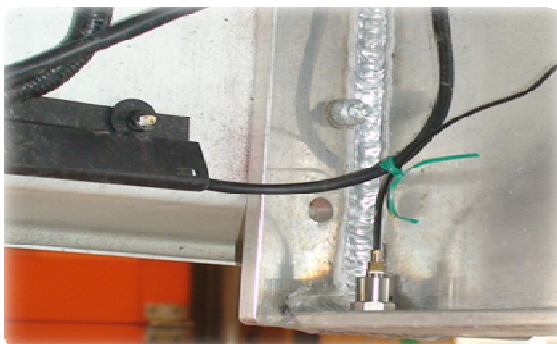


Abbildung 6.: Der hintere Beschleunigungsaufnehmer auf dem linken Hauptträger.

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

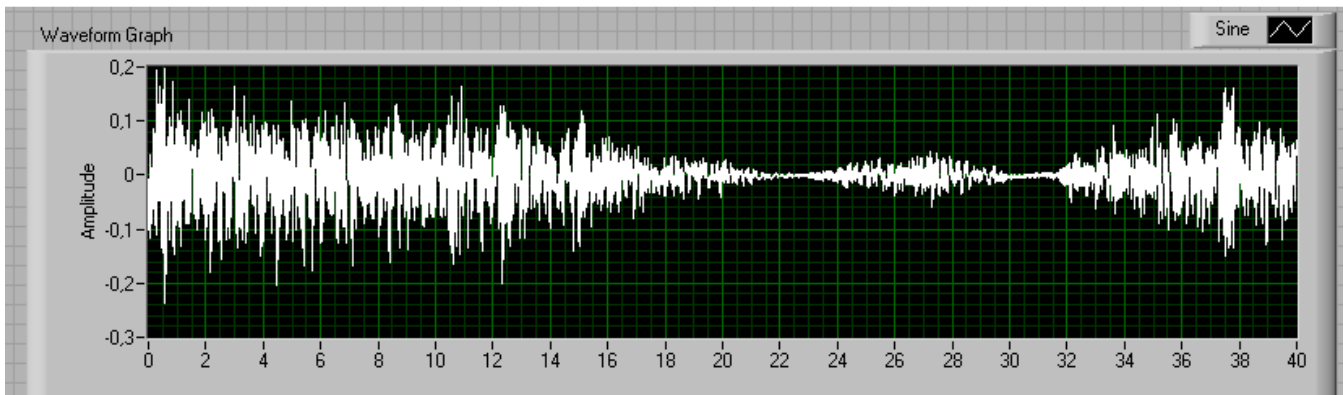


Abbildung 7.: Die Beschleunigungsamplitude des hinteren Beschleunigungsaufnehmers über die Zeit aus der Panelstraße in Knott Modra

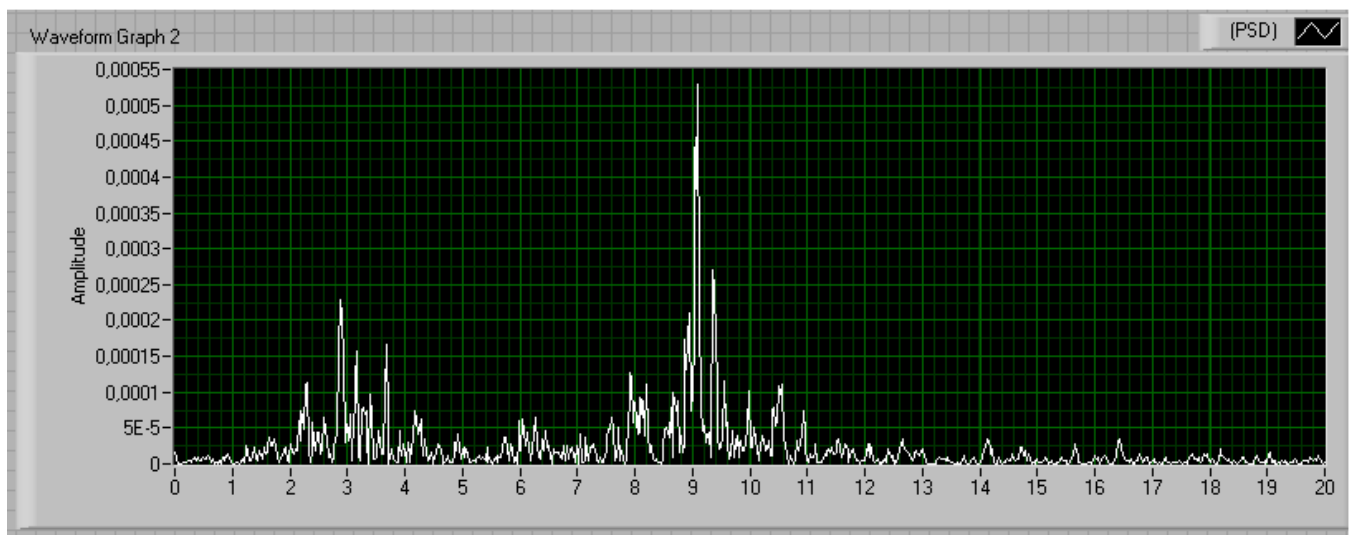


Abbildung 8.: Eine FFT Analyse aus der Aufzeichnung in der Abbildung 7. Die dominanten berechneten Frequenzen liegen bei 3Hz und 9Hz.

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

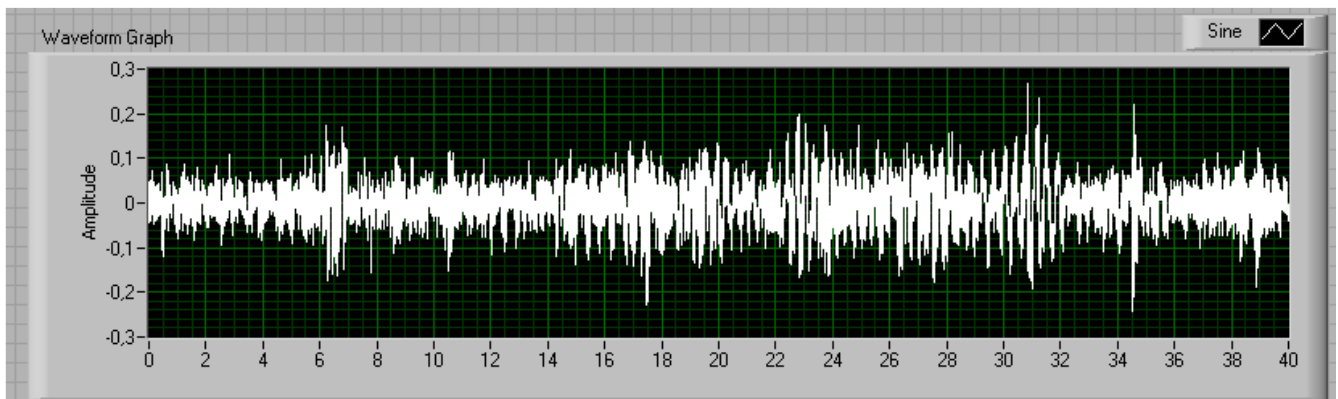


Abbildung 9.: Die Beschleunigungsamplitude des hinteren Beschleunigungsaufnehmers über die Zeit aus der Asphaltstraße mit den Schlaglöchern in Knott Modra

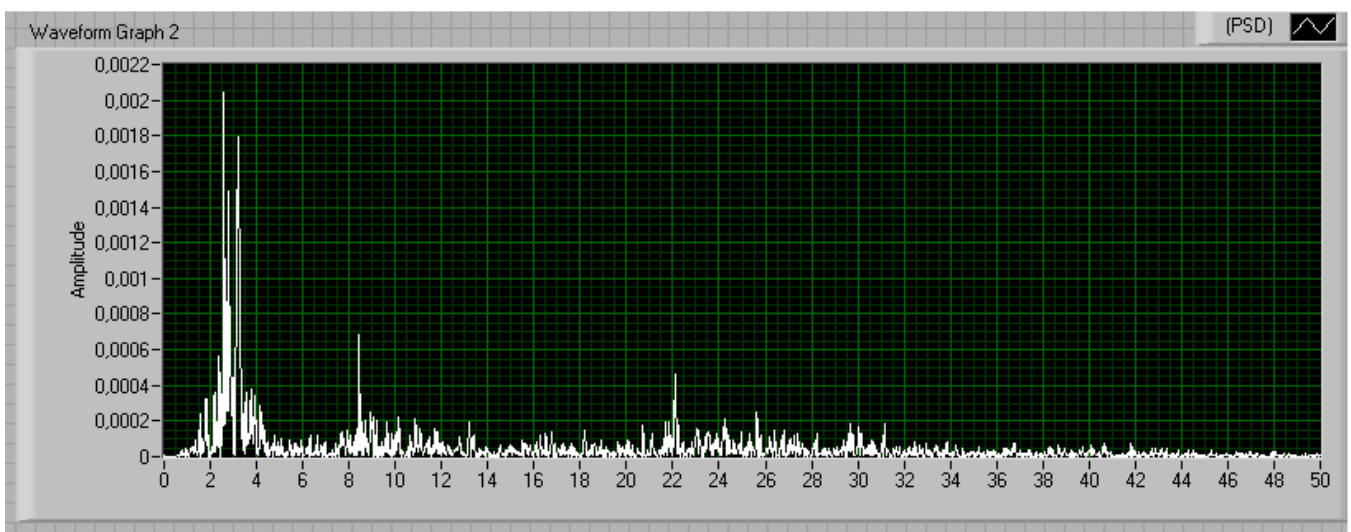


Abbildung 10.: Eine FFT Analyse aus der Aufzeichnung in der Abbildung 9. Die dominanten berechneten Frequenzen liegen bei 3Hz ,9Hz und 22Hz.

Es wurde auch eine FFT Analyse aus der Vorderachse-Aufzeichnung durchgeführt. Weil die Vorderachse über die Schrauben mit dem Fahrzeugrahmen verschraubt ist, können wir sagen, dass die Schwingungsfrequenz der Vorderachse eine Erregungsfrequenz für den Fahrzeugrahmen ist. Das gleiche gilt auch für die hintere Achse. Siehe dazu die Abbildungen 11,12.

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

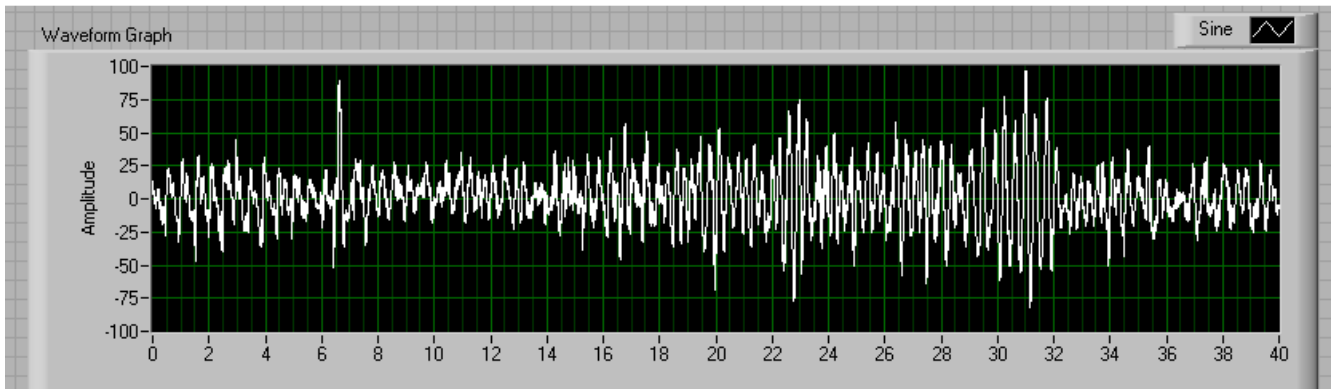


Abbildung 11.: Die Dehnungsamplitude aus den DMS der Vorderachse über die Zeit aus der Asphaltstraße mit den Schlaglöchern in Knott Modra

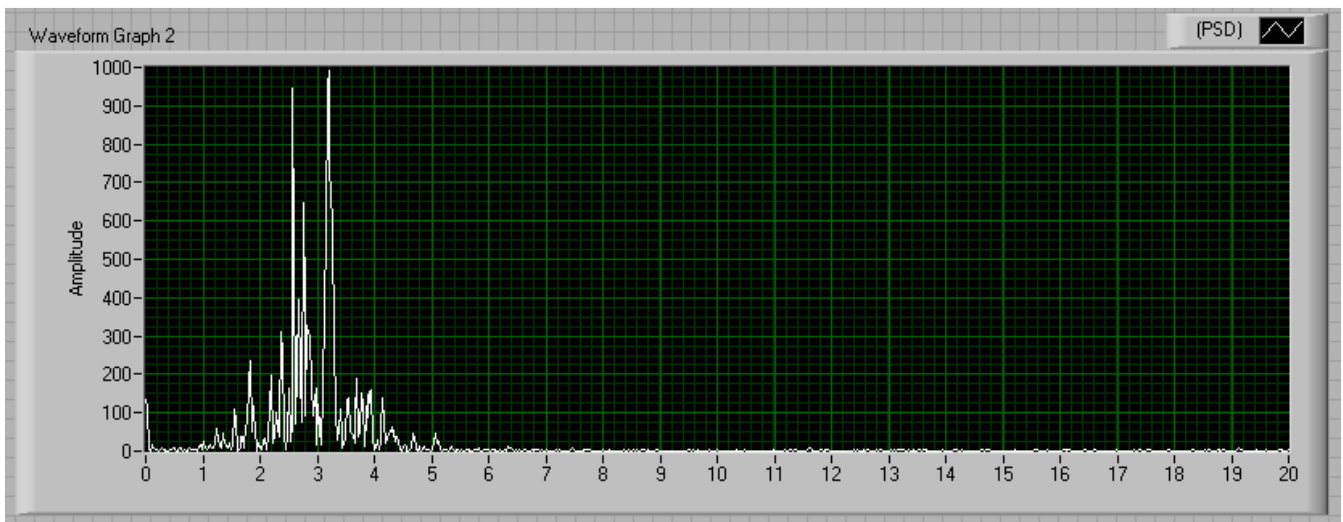


Abbildung 12.: Eine FFT Analyse aus der Aufzeichnung in der Abbildung 11. Die dominanten berechneten Frequenzen liegen bei 2,5Hz und 3,2Hz.

Es wurde auch die 1. Eigenfrequenz des Ford-Transit Fahrzeugrahmens berechnet. Die 1. Eigenfrequenz liegt bei 10,6Hz.

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

Modalanalyse Nr.1 für die Version 1: Es wurden folgende Eigenfrequenzen berechnet:

- 1. Eigenfrequenz liegt bei 9,309Hz
- 2. Eigenfrequenz liegt bei 13,168Hz
- 3. Eigenfrequenz liegt bei 18,830Hz

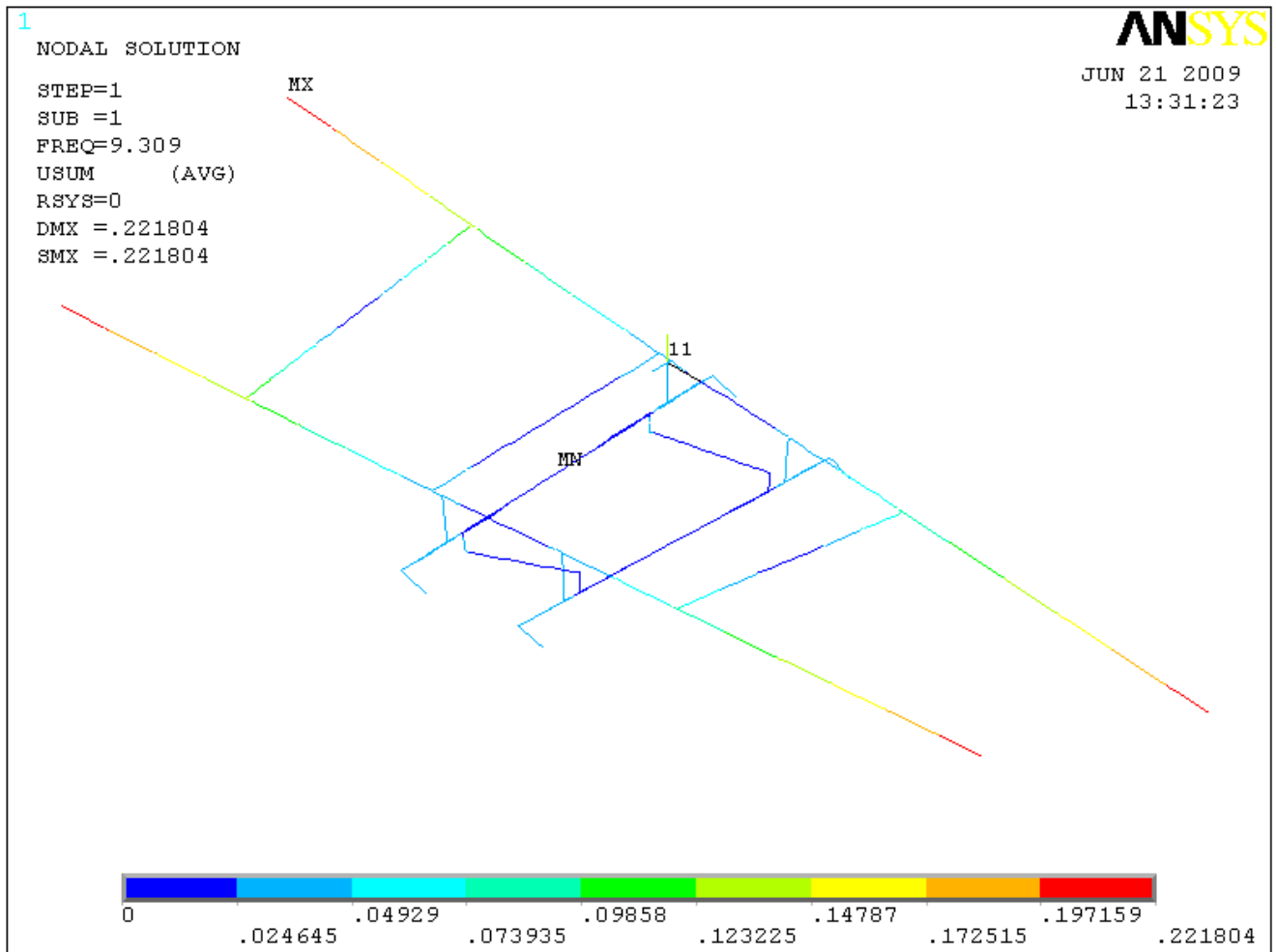


Abbildung 13.:Die 1. Schwingungsform der Version 1 aus der 1. Eigenfrequenz 9,309Hz.

Zu der Abbildung 13 wurde auch eine Aufnahme mit dem Name “ Version1_1.Schwingungsform.avi “ erstellt.

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

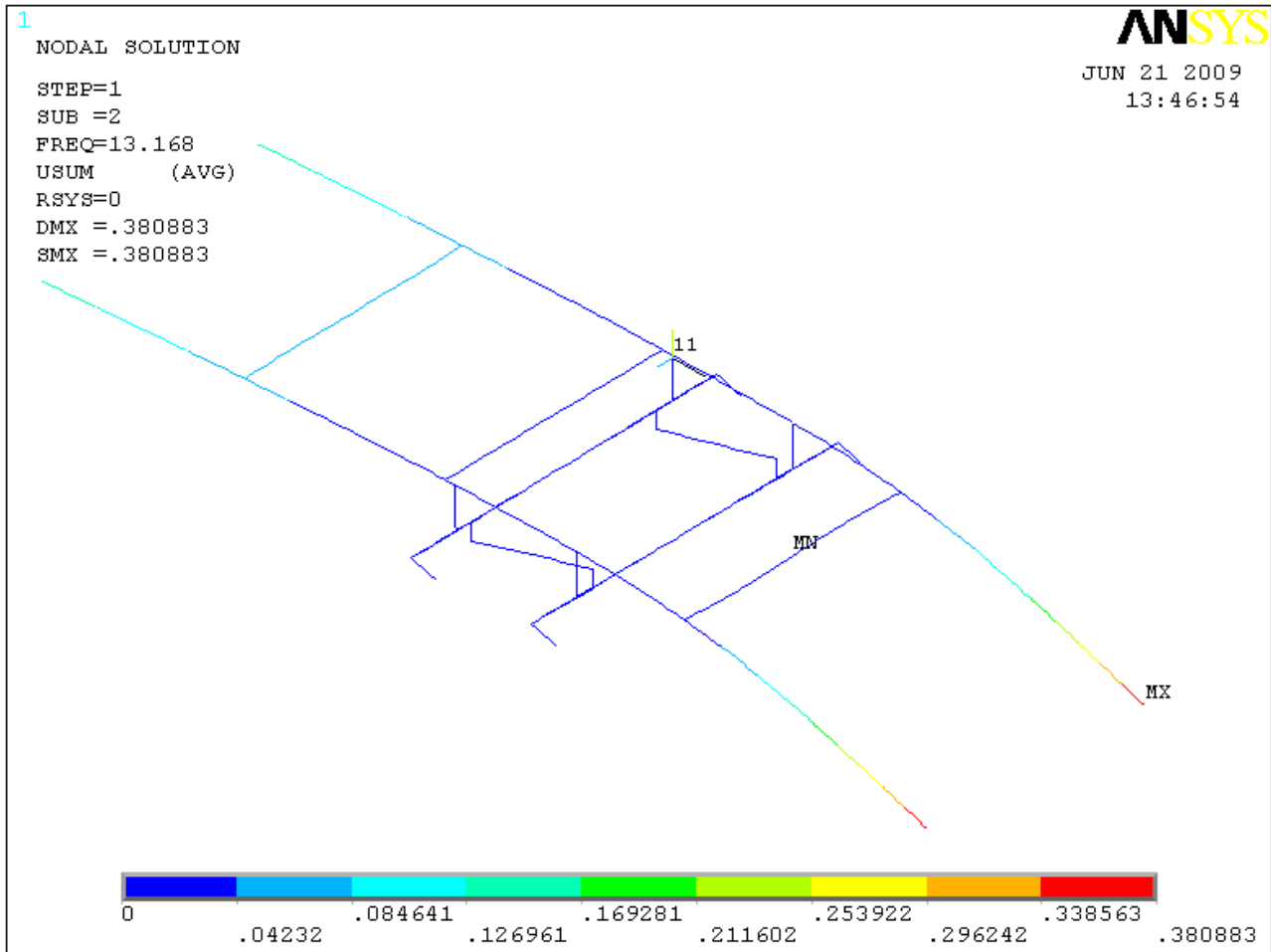


Abbildung 14.:Die 2. Schwingungsform der Version 1 aus der 2. Eigenfrequenz 13,168Hz.

Zu der Abbildung 14 wurde auch eine Aufnahme mit dem Name “ Version1_2.Schwingungsform.avi “ erstellt.

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

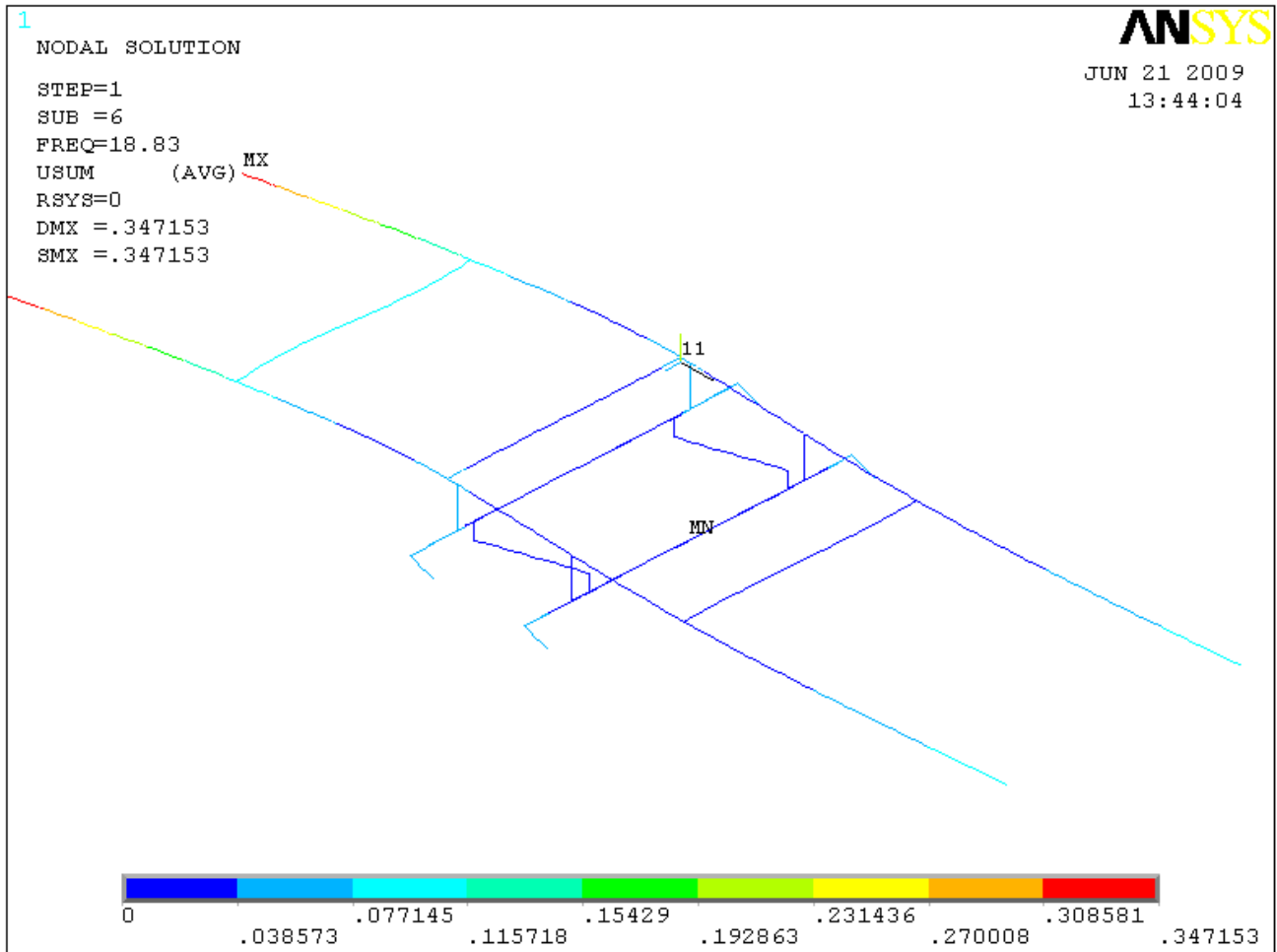


Abbildung 15.:Die 3. Schwingungsform der Version 1 aus der 3. Eigenfrequenz 18,830Hz.

Zu der Abbildung 15 wurde auch eine Aufnahme mit dem Name “ Version1_3.Schwingungsform.avi “ erstellt.

Modalanalyse Nr.1 für die Version 2: Es wurden folgende Eigenfrequenzen berechnet:

- 1. Eigenfrequenz liegt bei 13,648Hz
- 2. Eigenfrequenz liegt bei 18,476Hz
- 3.Eigenfrequenz liegt bei 32,816Hz

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

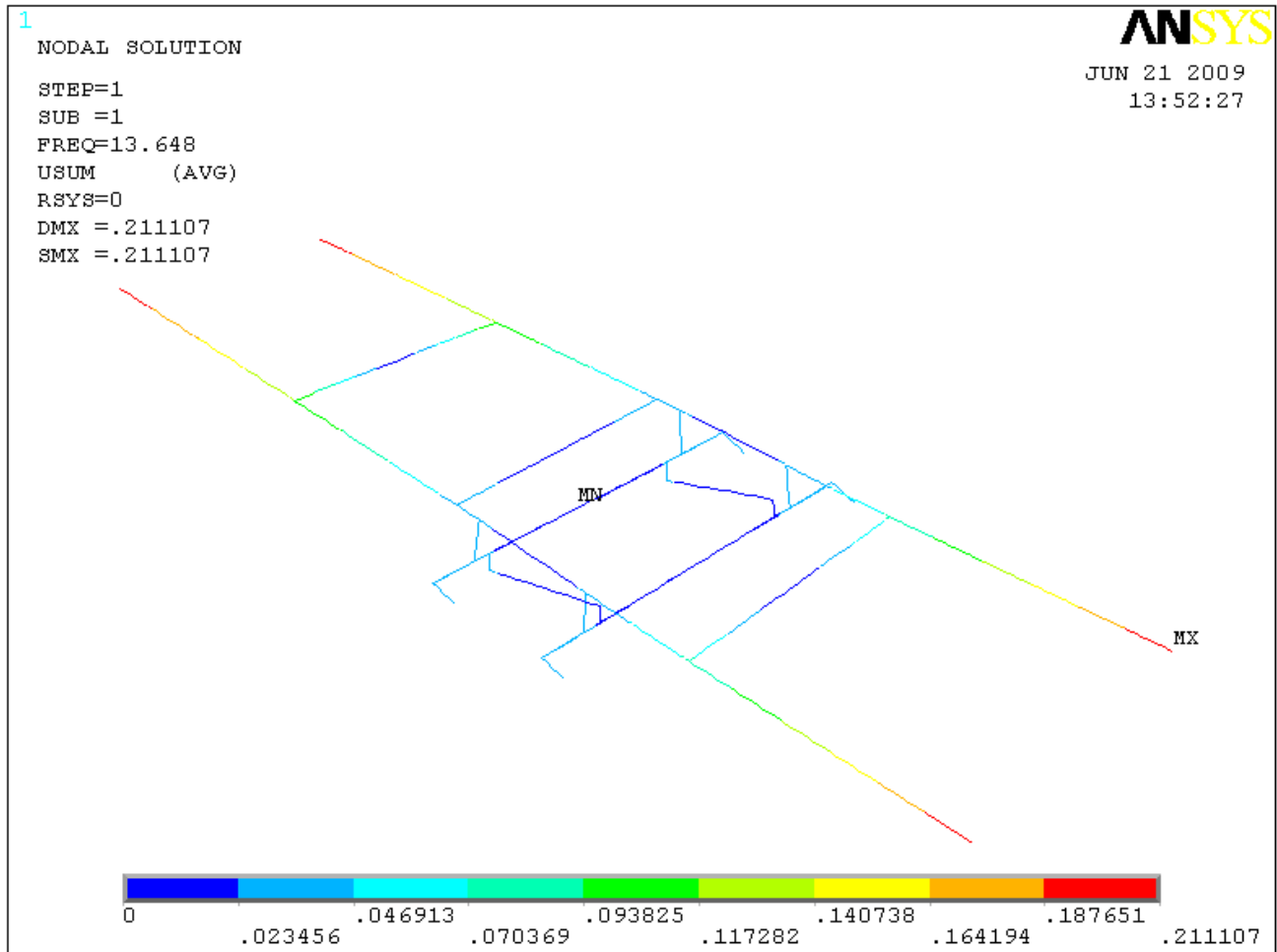


Abbildung 16.:Die 1. Schwingungsform der Version 2 aus der 1. Eigenfrequenz 13,648Hz.

Zu der Abbildung 16 wurde auch eine Aufnahme mit dem Name “ Version2_1.Schwingungsform.avi “ erstellt.

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

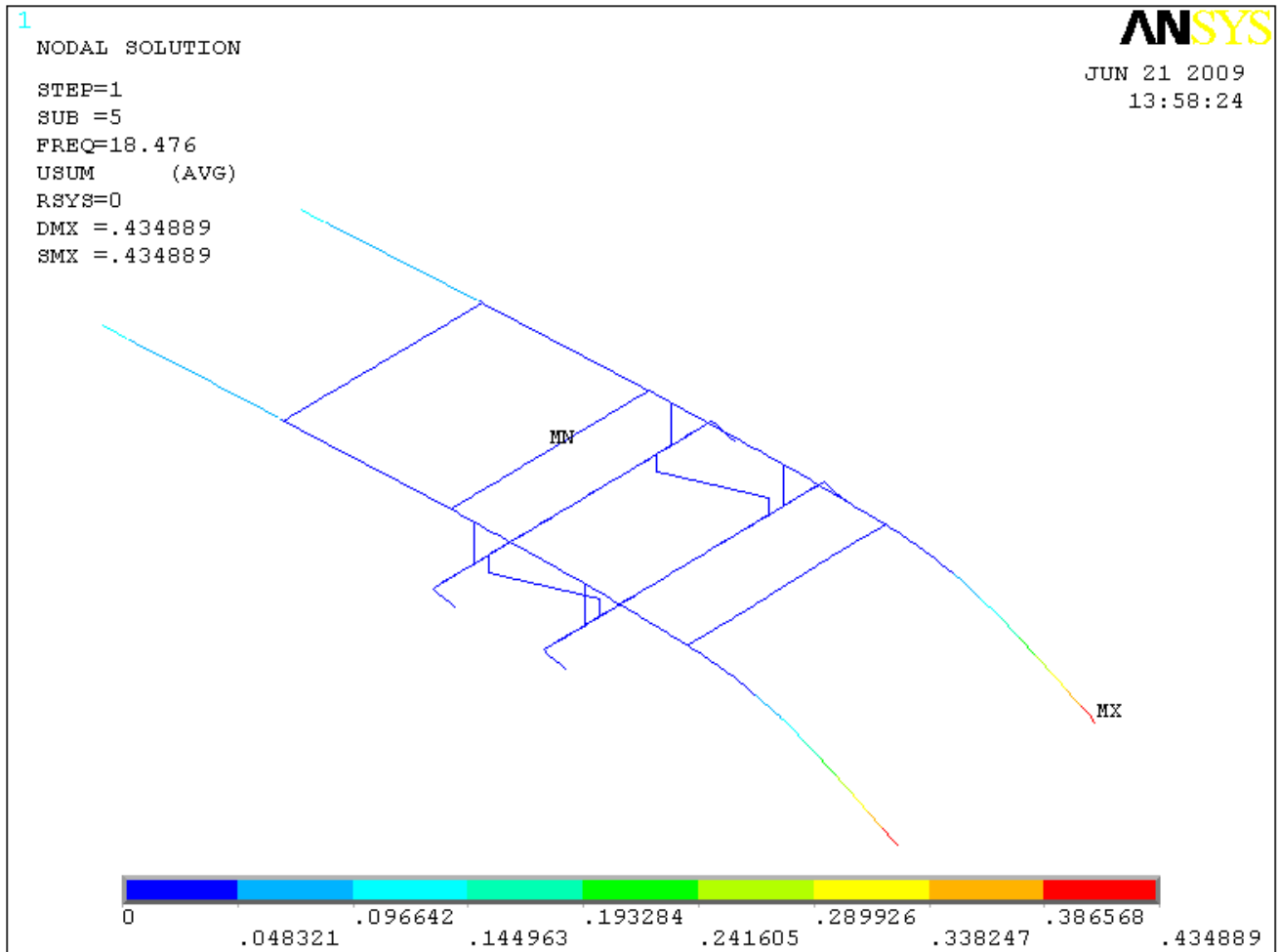


Abbildung 17.:Die 2. Schwingungsform der Version 2 aus der 2. Eigenfrequenz 18,476Hz.

Zu der Abbildung 17 wurde auch eine Aufnahme mit dem Name “ Version2_2.Schwingungsform.avi “ erstellt.

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

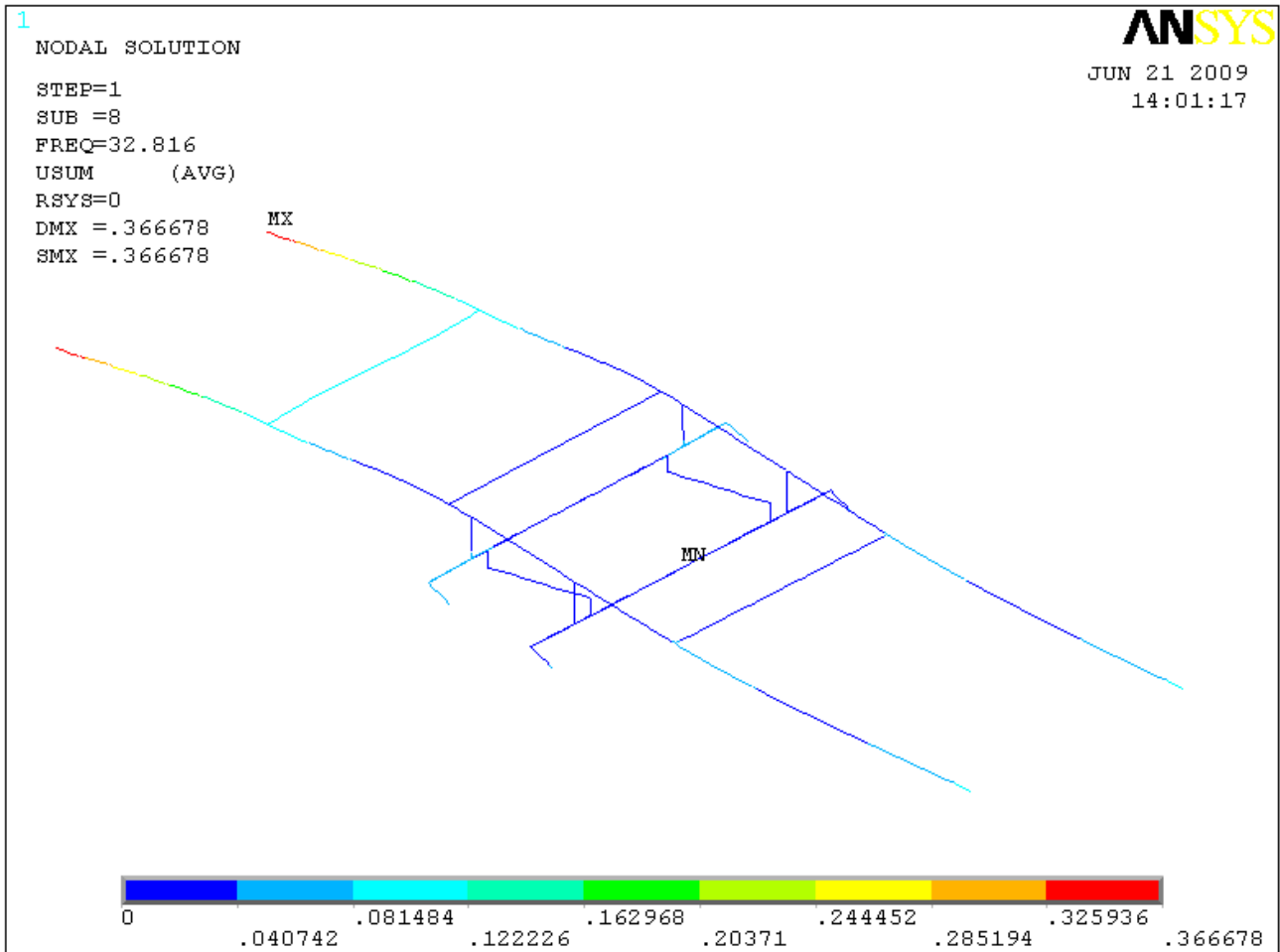


Abbildung 18.: Die 3. Schwingungsform der Version 2 aus der 3. Eigenfrequenz 32,816Hz.

Zu der Abbildung 18 wurde auch eine Aufnahme mit dem Name “ Version2_3.Schwingungsform.avi “ erstellt.

Stabilitätsberechnung der Version 1 und der Version 2: Die Berechnung wurde durch die Eigenfrequenzen der Version 1 und der Version 2 ermittelt.

$$\left(\frac{\text{Eigenfrequenz der Version 2}}{\text{Eigenfrequenz der Version 1}} - 1 \right) * 100\%$$

Protokoll-Nr.:	P039/SK/VIS-2009
----------------	------------------

Tabelle 1	1. Eigenfrequenz	2. Eigenfrequenz	3. Eigenfrequenz
Version 1	9,309Hz	13,168Hz	18,83Hz
Version 2	13,648Hz	18,476Hz	32,816Hz
Verbesserung Version 2/Version 1	46,61%	40,31%	74,28%

Aus der Tabelle 1 ist erkennbar, dass die Version 2 im Vergleich zu der Version 1 stabiler ist. Aus der Betrachtung der 1. Eigenfrequenz (Version 1, Version 2) können wir sagen, dass die Version 2 um 46,61% stabiler ist als die Version 1. Die 1. Eigenfrequenz der Version 2 liegt aber unter dem Wert 15 Hz (UNI Empfehlung) deshalb können wir nicht mit 100% Sicherheit sagen, dass diese 46,61% Verbesserung für den Fahrbetrieb ausreichend wird. Im Vergleich zu einem Projekt, der über UNI Bratislava (Hr. Chmelko) betreut wird (Formula Student www.formulastudent.de) liegt die 1. Eigenfrequenz des UNI-Formularahmens bei 50Hz. Die 1. Eigenfrequenz der Version 2 ist ausreichend für Knott Achsen, weil bei dieser Frequenz die Belastungsamplitudengrößen, die an die Achsen erzeugt werden, die Lebensdauer der Achsen minimal beeinflussen. Diese 1. Eigenfrequenz (Version 2) könnte aber noch zu dem Kabinenbruch führen.

Nur mit einem Fahrversuch auf der Teststrecke mit DMS- sowie Beschleunigungsmessungen können wir eine klare Aussage machen, ob die Version 2 für den Fahrbetrieb ausreichend ist. Dies ist verstärkt mit weiteren Analysen der Version 2, wo die Befestigungsschrauben einen Verdrehungsfreiheitsgrad zugelassen bekommen haben (eine Simulation der Schraubenlockerung). Dort liegt die 1. Eigenfrequenz der Version 2 bei 11,683Hz. Siehe dazu die Abbildung 19.

2. Beschreibung der Modalanalyse Nr.2: Die Modalanalyse Nr. 2 wurde weiter nur für die Version 2 durchgeführt, wobei eine Schraubenlockerung für alle 3 Querträger simuliert wurde.

Modalanalyse Nr.2 für die Version 2: Es wurden folgende Eigenfrequenzen berechnet:

- 1. Eigenfrequenz liegt bei 11,683Hz
- 2. Eigenfrequenz liegt bei 14,503Hz

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

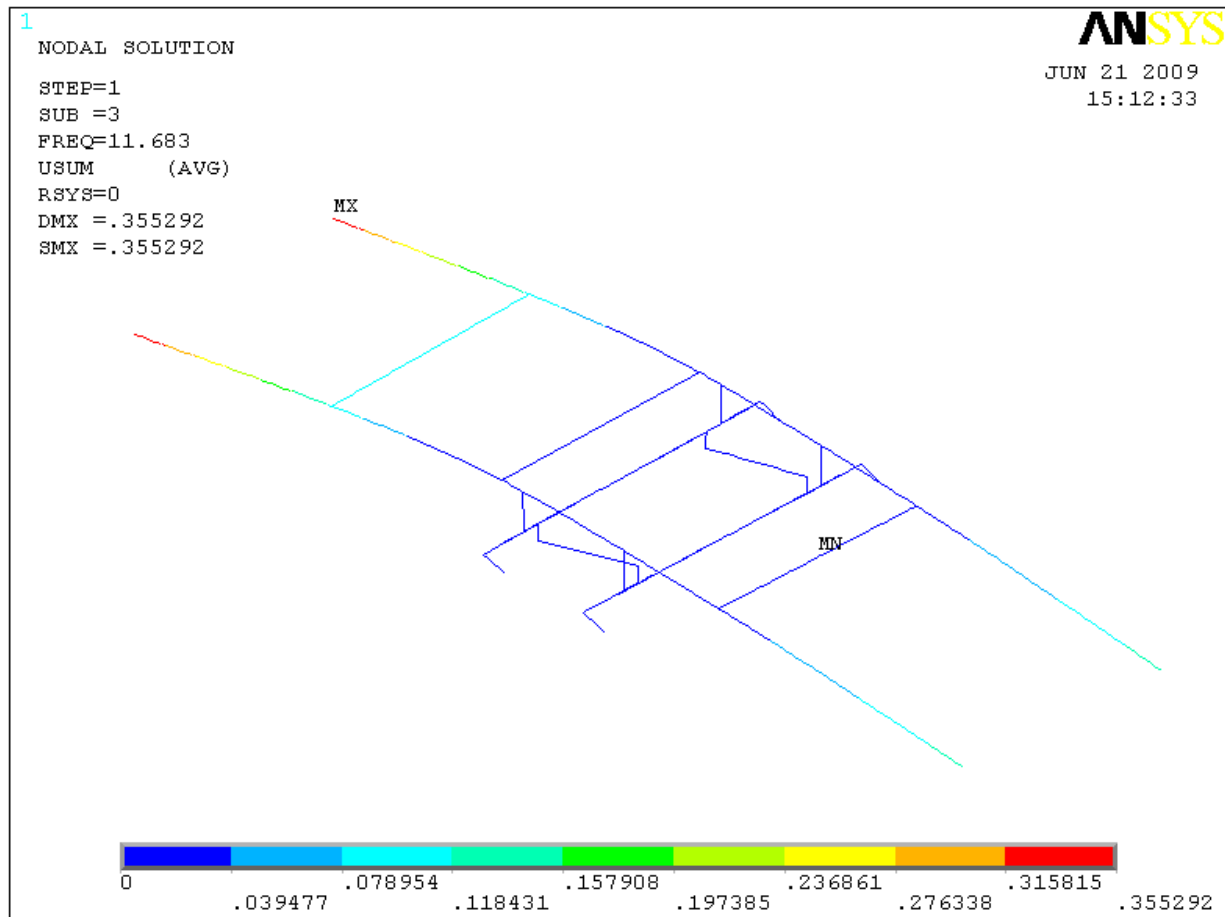


Abbildung 19.:Die 1. Schwingungsform der Version 2 aus der 1. Eigenfrequenz 11,683Hz und aus der Modalanalyse Nr.2.

Zu der Abbildung 19 wurde auch eine Aufnahme mit dem Name "Version2_1.Schwingungsform_Schraubenlockerung" erstellt.

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

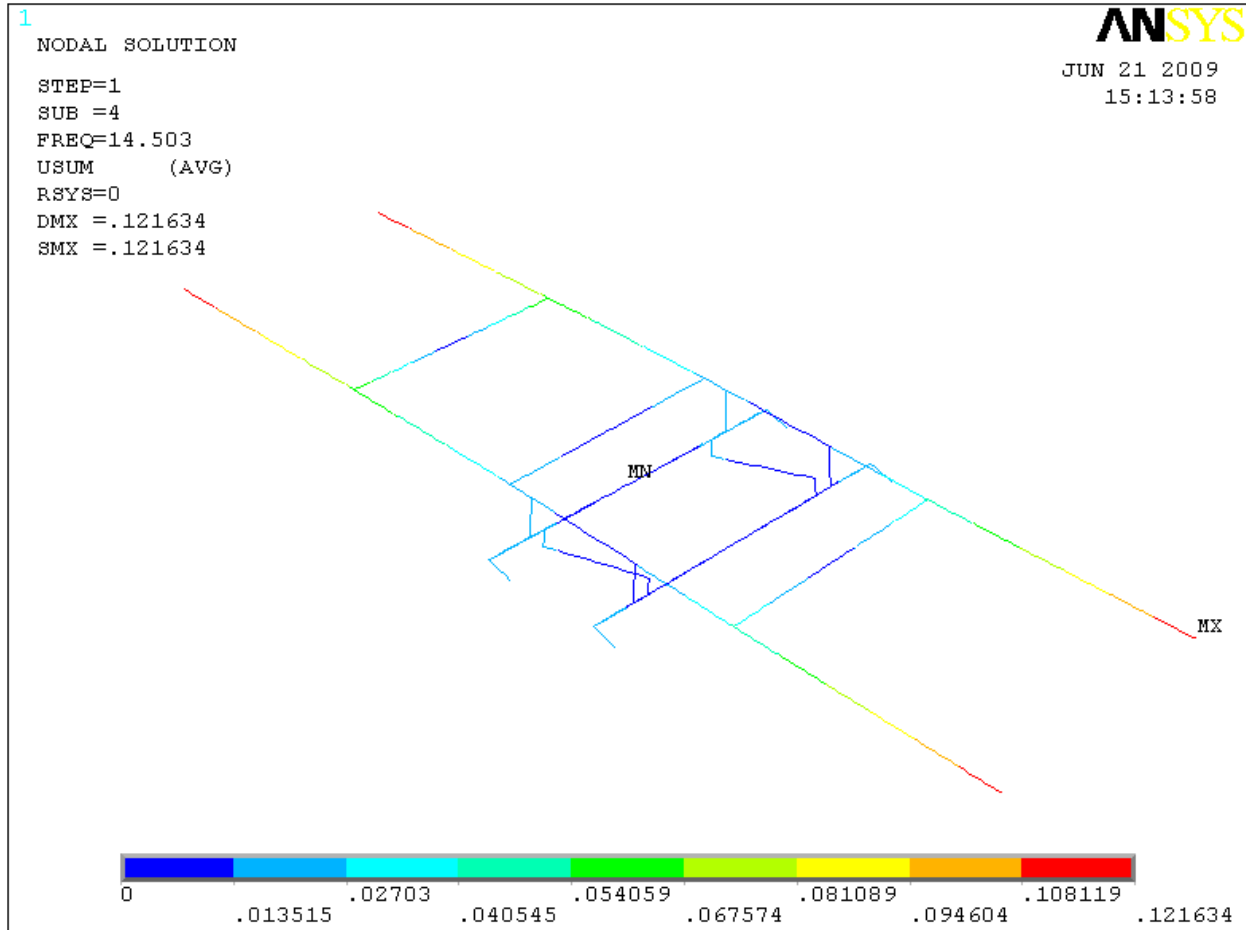


Abbildung 20.:Die 2. Schwingungsform der Version 2 aus der 2. Eigenfrequenz 14,503Hz und aus der Modalanalyse Nr.2.

Zu der Abbildung 20 wurde auch eine Aufnahme mit dem Name "Version2_2.Schwingungsform_Schraubenlockerung.avi " erstellt.

Es ist sehr interessant zu sehen, dass bei der Simulierung (Version 2, Modalanalyse Nr. 2) der Schraubenlockerung ändern sich die 1-und die 2.Schwingungsform im Vergleich zu den Schwingungsformen aus der Modalanalyse Nr. 1 der Version 2.

Es hat sich gezeigt, dass:

- 1.Schwingungsform (Version 2, Modalanalyse Nr.1) = 2. Schwingungsform (Version 2 Modalanalyse Nr.2⇒Schraubenlockerung). Siehe Abbildung 16 und 20

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

- 2.Schwingungsform (Version 2, Modalanalyse Nr.1) = 1. Schwingungsform (Version 2 Modalanalyse Nr.2⇒Schraubenlockerung). Siehe Abbildung 17 und 19.

3. Beschreibung der Belastung des FGS-Fahrzeugrahmens mit einem Kräftepaar: Aus der Modalanalyse Nr.1 und Nr.2 wurde zusätzlich eine Belastung des Fahrzeugrahmens über ein Kräftepaar in der Größe 2000N/Seite durchgeführt. Die Richtung der Belastung wurde so vorgeschlagen, damit die 1. Schwingungsform erzeugt wurde. Diese Belastung wurde für Version 1 und Version 2 sowie Version 2 mit Schraubenlockerung durchgeführt. Aus dieser Analyse wurden die Verschiebung sowie die Spannung berechnet.

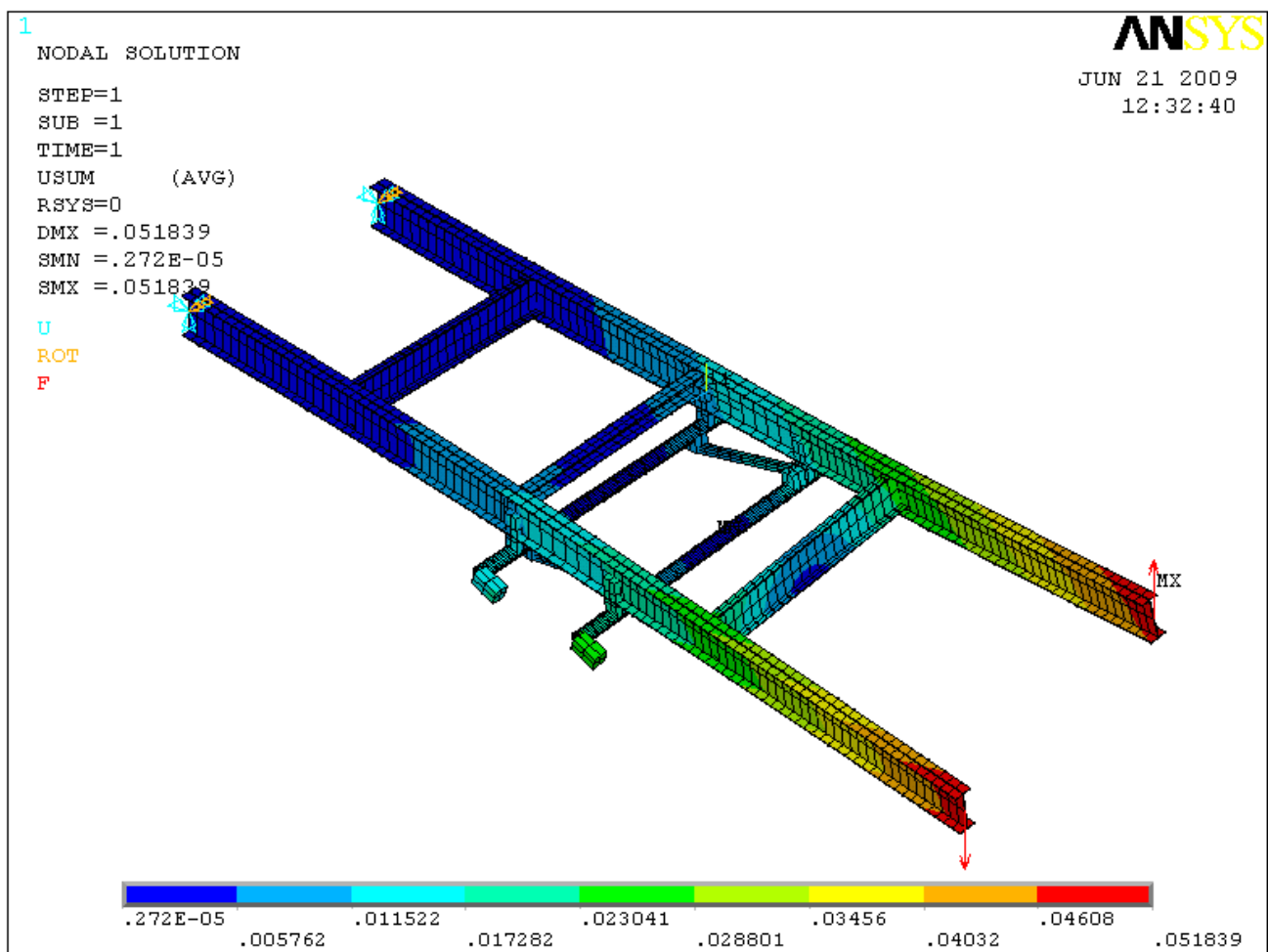


Abbildung 21.:Die Darstellung der maximalen Verschiebung des Fahrzeugrahmens für die Version 1.

Zu der Abbildung 21 wurde auch eine Aufnahme mit dem Name “Version1_Verschiebung.avi“ erstellt.

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

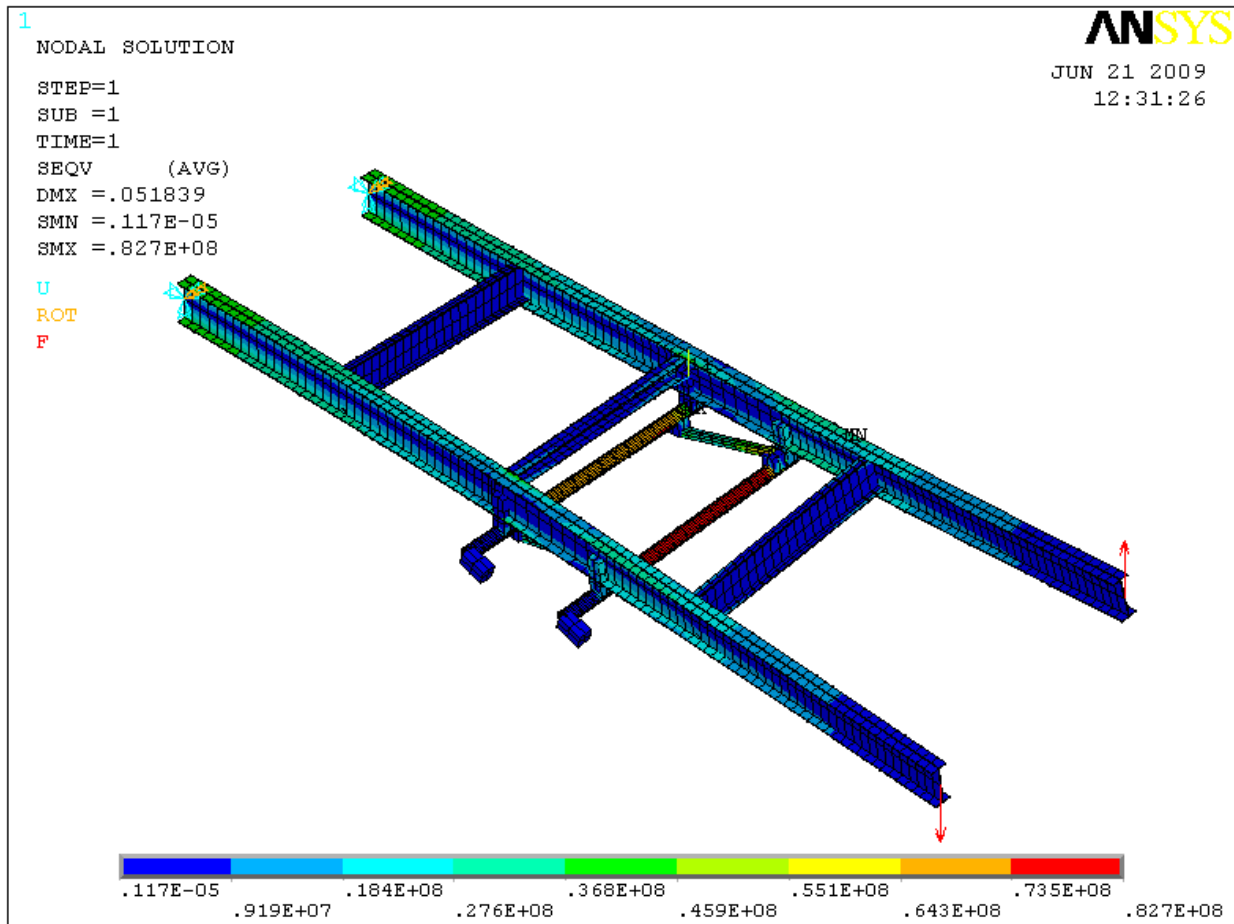


Abbildung 22.:Die Darstellung der maximalen Spannungen des Fahrzeugrahmens für die Version 1.

Zu der Abbildung 22 wurde auch eine Aufnahme mit dem Name "Version1_Spannung.avi" erstellt.

Aus der Abbildung 22 geht hervor, dass die 1. Schwingungsform die Knott Achsen am meisten belastet, weil die Achsen für den Fahrzeugrahmen als einen Verdrehungswiderstand dienen. Die max. Spannungen liegen in den Achsen bei 82N/mm^2 .

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

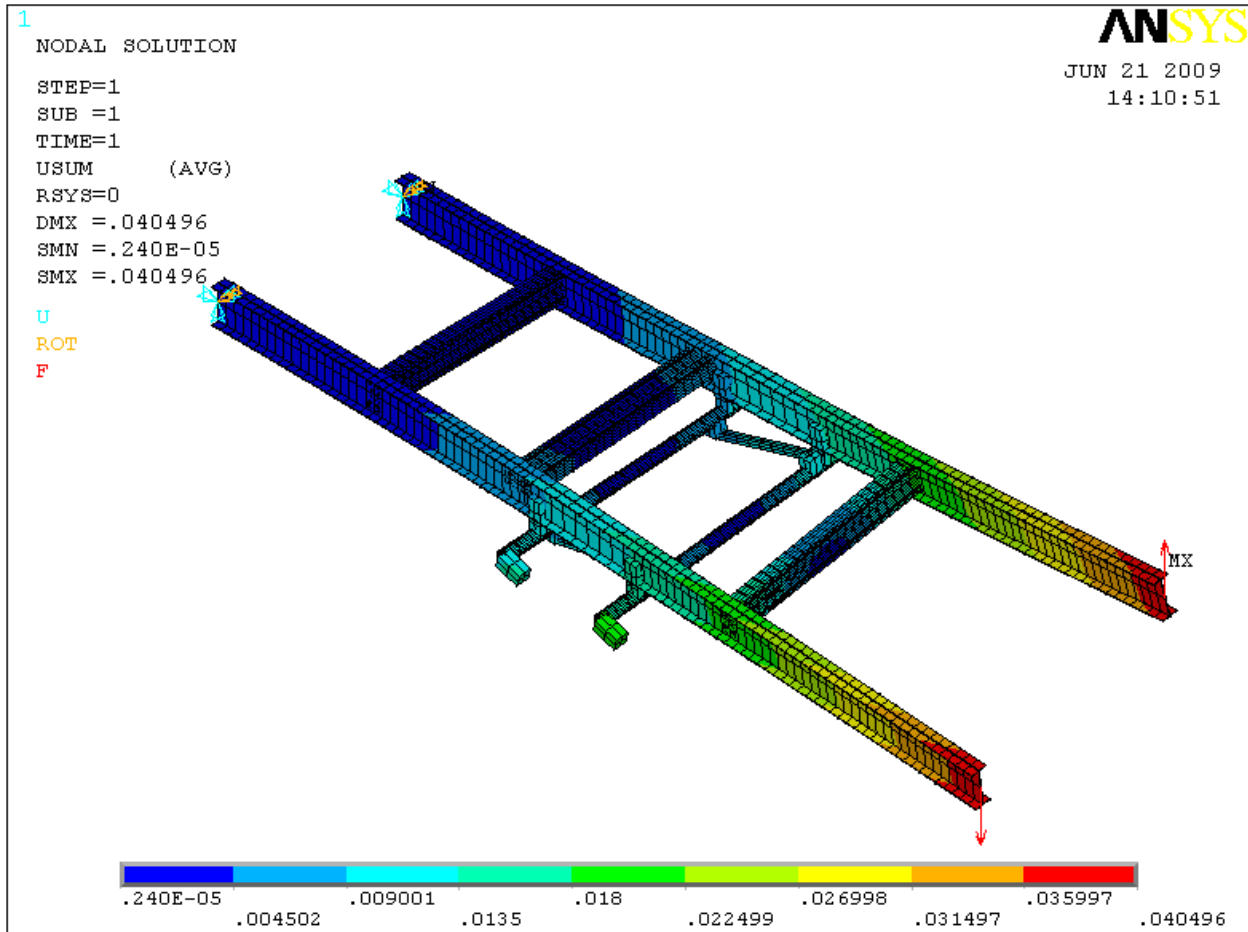


Abbildung 23.:Die Darstellung der maximalen Verschiebung des Fahrzeugrahmens für die Version 2.

Zu der Abbildung 23 wurde auch eine Aufnahme mit dem Name "Version2_Verschiebung.avi" erstellt.

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

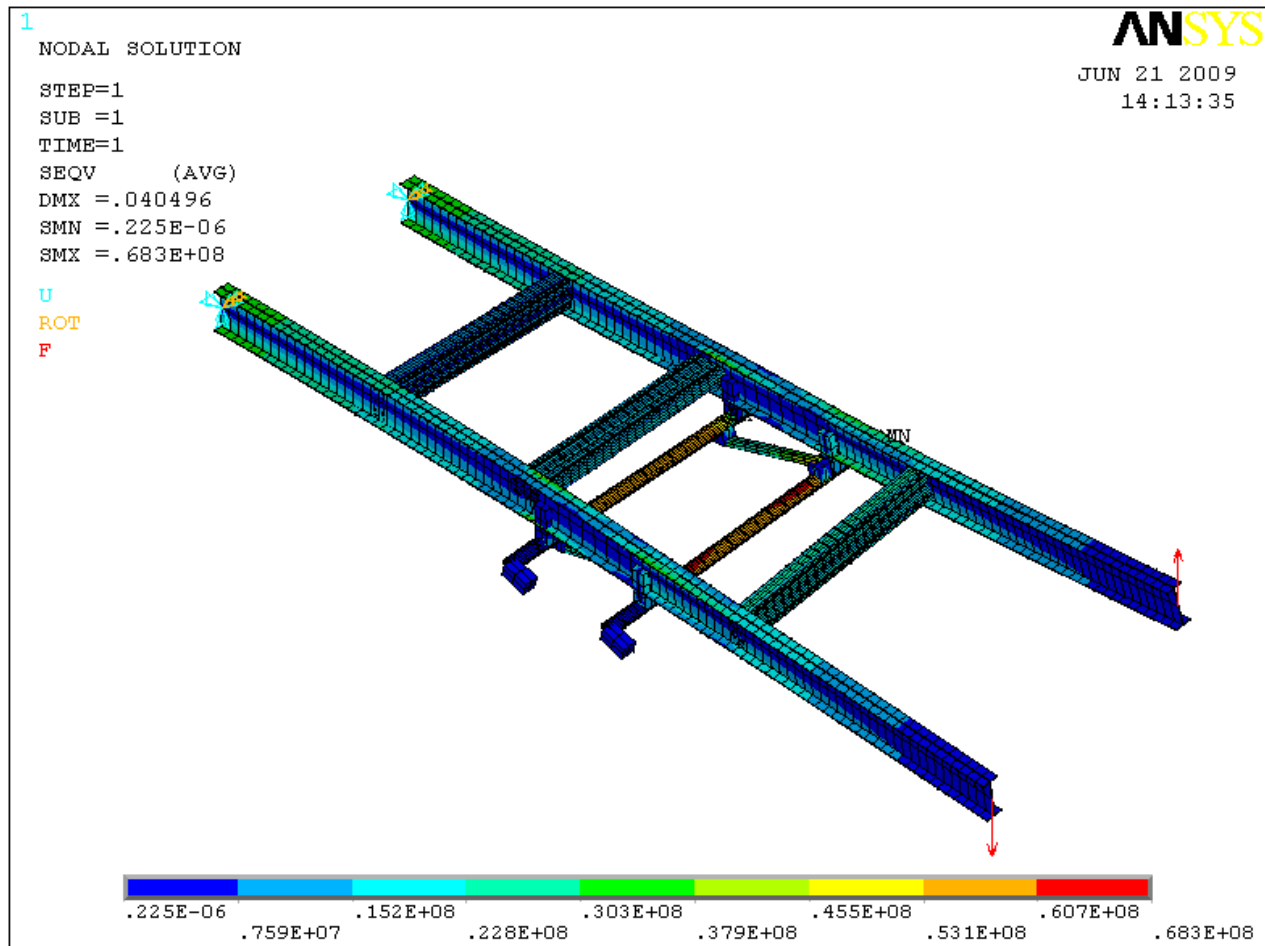


Abbildung 24.:Die Darstellung der maximalen Spannungen des Fahrzeugrahmens für die Version 2.

Zu der Abbildung 24 wurde auch eine Aufnahme mit dem Name "Version2_Spannung.avi" erstellt.

Aus der Abbildung 24 geht hervor, dass die 1. Schwingungsform die Knott Achsen am meisten belastet, weil die Achsen für den Fahrzeugrahmen als einen Verdrehungswiderstand dienen. Die max. Spannungen liegen in den Achsen bei 68N/mm^2 .

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

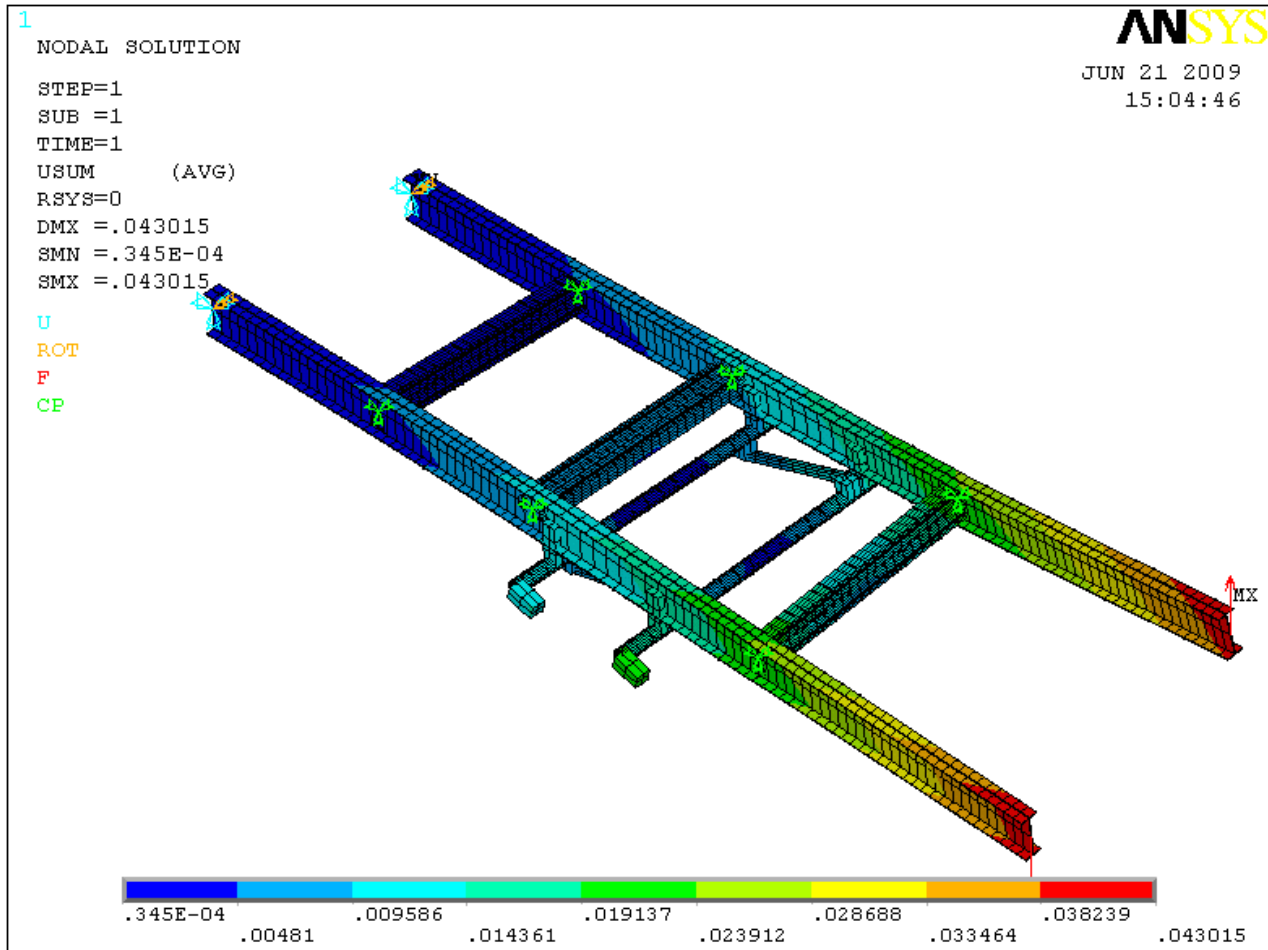


Abbildung 25.:Die Darstellung der maximalen Verschiebung des Fahrzeugrahmens für die Version 2 und Schraubenlockerung.

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

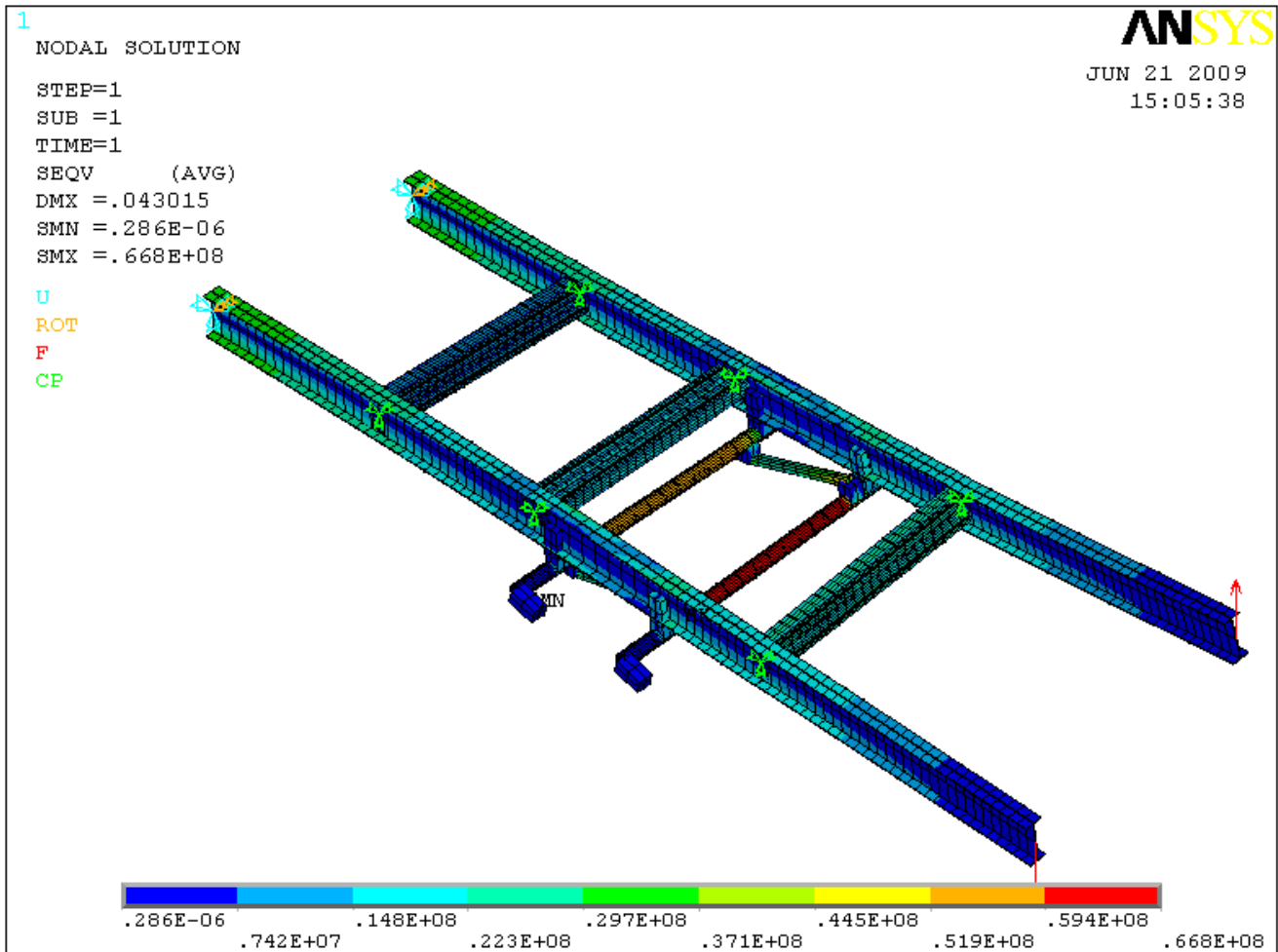


Abbildung 26.:Die Darstellung der maximalen Spannungen des Fahrzeugrahmens für die Version 2 und Schraubenlockerung.

Aus den Abbildungen Nr. 25,26 geht hervor, dass sich die Situation im Vergleich zu den Abbildungen 23,24 verbessert hat (die Schraubenlockerung hat niedrigere Verschiebungen sowie Spannungen erzeugt). Dies ist deshalb so, weil sich die Kräfte wegen der Schraubenlockerung anders abgeleitet haben aber wir können in diesem Fall nicht über eine Verbesserung sprechen, weil die 1. Eigenfrequenz der Version 2 mit Schraubenlockerung bei 11,683Hz liegt im Vergleich zu der 1. Eigenfrequenz der Version 2 mit einer fixen Schraubenbefestigung, die bei 13,648Hz liegt. Bei einer Schraubenlockerung verschlechtert sich Verdrehungswiderstand der Version 2 um 14,4 %

Protokoll-Nr.:

P039/SK/VIS-2009

Fazit: Aus den durchgeführten Analysen geht hervor, dass die Version 2 im Vergleich zu der Version 1 eine wesentliche Verbesserung ist. Aus diesen Analysen können wir aber nicht 100% sagen, dass die Version 2 nicht zu den Kabinenbrüchen führen wird, weil diese Analysen nur in einer relativen Größe (in %) errechnet wurden. Es ist sehr wichtig zu sagen, dass eine Schraubenlockerung der Version 2 die 1. Eigenfrequenz so minimiert, dass sich diese zu der 1. Eigenfrequenz der Version 1 aus der Modalanalyse Nr. 1. naht. Anhang diesen Analysen und Anhang Erfahrungen der UNI Spezialisten (1. Eigenfrequenz sollte min. bei 15Hz liegen) empfehlen wir weiter, dass sich einen Fahrversuch für die Version 2 auf der Tatra-Teststrecke stattfindet. Aus den Abbildungen 8 und 10 geht hervor, dass der Fahrzeugrahmen (aus dem Ford Transit VIN WFOAXXTTFA3Y14564) mit 3Hz, 9Hz und 22Hz schwingt, wobei die 1. Eigenfrequenz bei 10,6Hz liegt. Dies ist schon sehr gefährlich, weil wir sehr nah an der Resonanz liegen. Siehe die Abbildung 27.

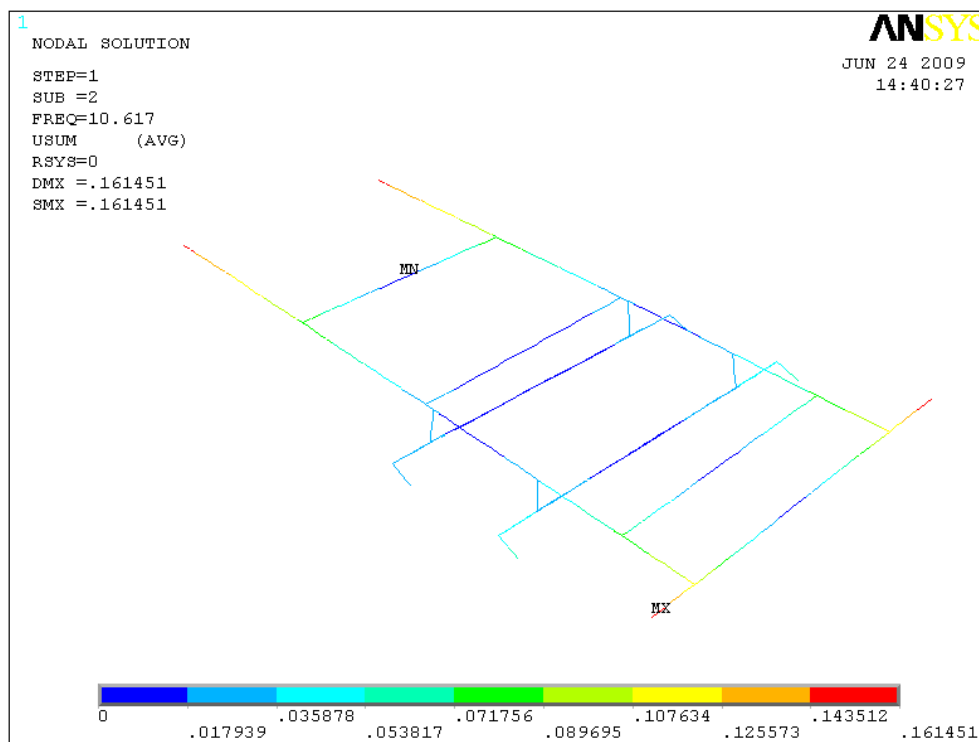


Abbildung 27.: Die 1. Schwingungsform des FGS-Fahrzeugrahmens auf dem Ford-Transit und aus der 1. Eigenfrequenz 10,617Hz.

In Modra am 24.06.2009

erstellt von: Dipl.-Ing. Chmelko Vladimir, PhD
Dipl.-Ing. Šulko Miroslav, PhD
Dipl.-Ing. Steinhübl Jozef +421 (0) 33 69 025 11
 +421 (0) 33 69 025 55
e-mail: knott@knott.sk
http://www.knott.sk**KNOTT, spol. s r.o.**
Dolná 142, P. O. BOX 60
900 01 Modra
Slovenská republikaBankové spojenie:
TATRA BANKA
č. ú.: 2623060009/1100 (SKK)
č. ú.: 2923060000/1100 (EURO)
SWIFT: TATR SK BX