



IB 232-2015 J 07

IB 232-2015 J 07

Aeroelastische Untersuchung
der ALLEGRA-Konfiguration
(Version „S“)

Stefan Waitz

Institut für Aeroelastik



**Aeroelastische Untersuchung der
ALLEGRA-Konfiguration (Version „S“)**

STEFAN WAITZ

Institut für Aeroelastik, DLR, Göttingen

31. August 2015

Kurzfassung

Dieser Bericht behandelt die aeroelastischen Stabilitätsuntersuchungen an der ALLEGRA-Flugzeugkonfiguration in der Entwurfsversion „S“. Er beschreibt den Aufbau des Simulationsmodells, umreißt den Lösungsgang und enthält die Ergebnisse der Flutteranalyse für zwei ausgesuchte Beladungszustände (c01 und c09) für jeweils zwei Flughöhen (5400 um 11000 m). Diese Untersuchung hatte zum einen den Nachweis der Flattersicherheit der ALLEGRA-Konfiguration innerhalb der Flugenveloppe zum Ziel; zum anderen lassen sich durch die Ausweitung des untersuchten Geschwindigkeitsbereiches und das Auffinden instabiler Zustände auch bei höheren Fluggeschwindigkeiten Erkenntnisse über das aeroelastische dynamische Stabilitätverhalten im Falle von z.B. Strukturveränderungen gewinnen (Klassifizierung der Flutterzustände). Als Ergebnisse der aeroelastischen Eigenwertanalysen werden mit den Flutterfrequenzen, den Flutterformen und den jeweiligen kritischen Geschwindigkeiten die wesentlichen Kennzahlen der Flutterfälle präsentiert. Durch Erfassung des Einflusses des Triebwerksschubes und der Gyroskopie des Triebwerksrotors wurden Erweiterungen höherer Ordnung an dem Basis-Simulationsmodell vorgenommen. Die Auswirkungen dieser linearen Modellerweiterungen der Triebwerke unter Betriebsbedingungen auf die Flutterzustände wurden untersucht.

Institutsleiter:

Prof. Dr.-Ing. Lorenz Tichy

Verfasser:

Dr.-Ing. Stefan Waitz

Abteilungsleiter:

Dr.-Ing. Holger Hennings

HAP-Leiter:

Dipl.-Ing. Thomas Klimmek

Aeroelastische Untersuchung
der ALLEGRA-Konfiguration
(Version „S“)

Stefan Waitz

Institut für Aeroelastik
DLR, Göttingen

86 Seiten
112 Abbildungen
26 Tabellen
12 Literaturangaben

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungen	10
1 Einleitung	11
2 Das aeroelastische System	12
3 Die Flutteranalysen	15
4 Die Flutterformen	24
5 Die Vakuum-Eigenformen	40
6 Zusammenfassung	84
Literatur	86

Abbildungsverzeichnis

1	Das aerodynamische Modell zum Aufbau des DLM-Gitters	12
2	Das FEM-Modell zum Aufbau der Rumpf- und Flügel-Struktur	13
3	Aerodynamische Anfachung der ersten 20 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c01, ISA 15°C, H = 5400 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 3 und Abb. 11 – 17)	20
4	Frequenzkurven der ersten 20 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c01, ISA 15°C, H = 5400 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 3 und Abb. 11 – 17) .	20
5	Aerodynamische Anfachung der ersten 25 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c09, ISA 15°C, H = 5400 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 4 und Abb. 18 – 25)	21
6	Frequenzkurven der ersten 25 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c09, ISA 15°C, H = 5400 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 4 und Abb. 18 – 25) .	21
7	Aerodynamische Anfachung der ersten 20+1 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c01, ISA 15°C, H = 11000 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 5) . .	22
8	Frequenzkurven der ersten 20+1 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c01, ISA 15°C, H = 11000 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 5)	22
9	Aerodynamische Anfachung der ersten 28 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c09, ISA 15°C, H = 11000 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 6) . .	23
10	Frequenzkurven der ersten 28 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c09, ISA 15°C, H = 11000 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 6)	23
11	1. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 8. Eigenform, $f = 4.6378$ [Hz], EAS = 386.6380 [m/sec], TAS = 509.7366 [m/sec] .	25
12	2. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 10. Eigenform, $f = 3.1210$ [Hz], EAS = 293.3018 [m/sec], TAS = 386.6839 [m/sec]	26
13	3. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 14. Eigenform, $f = 6.1403$ [Hz], EAS = 360.4483 [m/sec], TAS = 475.2086 [m/sec]	27
14	4. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 15. Eigenform, $f = 7.2880$ [Hz], EAS = 337.1126 [m/sec], TAS = 444.4432 [m/sec]	28
15	5. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 18. Eigenform, $f = 12.3209$ [Hz], EAS = 276.5613 [m/sec], TAS = 364.6135 [m/sec]	29
16	6. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 19. Eigenform, $f = 11.6098$ [Hz], EAS = 289.3963 [m/sec], TAS = 381.5349 [m/sec]	30
17	7. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 21. Eigenform, $f = 12.7075$ [Hz], EAS = 293.6275 [m/sec], TAS = 387.1132 [m/sec]	31
18	3. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09: 8. Eigenform, $f = 2.1282$ [Hz], EAS = 300.1188 [m/sec], TAS = 395.6713 [m/sec] .	32
19	4. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09: 9. Eigenform, $f = 4.3915$ [Hz], EAS = 351.5576 [m/sec], TAS = 463.4872 [m/sec] .	33

20	5. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:	
	10. Eigenform, $f = 3.9517$ [Hz], EAS = 292.4839 [m/sec], TAS = 385.6055 [m/sec]	34
21	6. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:	
	12. Eigenform, $f = 4.4276$ [Hz], EAS = 381.1892 [m/sec], TAS = 502.5529 [m/sec]	35
22	7. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:	
	13. Eigenform, $f = 5.2546$ [Hz], EAS = 321.9483 [m/sec], TAS = 424.4508 [m/sec]	36
23	8. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:	
	17. Eigenform, $f = 12.3726$ [Hz], EAS = 276.5922 [m/sec], TAS = 364.6541 [m/sec]	37
24	9. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:	
	24. Eigenform, $f = 11.7860$ [Hz], EAS = 278.8996 [m/sec], TAS = 367.6962 [m/sec]	38
25	10. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:	
	26. Eigenform, $f = 13.0382$ [Hz], EAS = 275.8559 [m/sec], TAS = 363.6835 [m/sec]	39
26	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 1. Eigenform, $f = 1.095675E-02$ [Hz]	41
27	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 2. Eigenform, $f = 7.775512E-03$ [Hz]	41
28	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 3. Eigenform, $f = 1.514246E-03$ [Hz]	42
29	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 4. Eigenform, $f = 9.794927E-04$ [Hz]	42
30	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 5. Eigenform, $f = 8.712155E-03$ [Hz]	43
31	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 6. Eigenform, $f = 1.004192E-02$ [Hz]	43
32	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 7. Eigenform, $f = 3.320090E+00$ [Hz]	44
33	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 8. Eigenform, $f = 3.384457E+00$ [Hz]	44
34	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 9. Eigenform, $f = 3.988248E+00$ [Hz]	45
35	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 10. Eigenform, $f = 4.736084E+00$ [Hz]	45
36	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 11. Eigenform, $f = 4.907886E+00$ [Hz]	46
37	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 12. Eigenform, $f = 5.312663E+00$ [Hz]	46
38	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 13. Eigenform, $f = 5.868325E+00$ [Hz]	47
39	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 14. Eigenform, $f = 6.991970E+00$ [Hz]	47
40	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 15. Eigenform, $f = 7.325928E+00$ [Hz]	48
41	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 16. Eigenform, $f = 7.586901E+00$ [Hz]	48
42	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 17. Eigenform, $f = 7.705006E+00$ [Hz]	49
43	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 18. Eigenform, $f = 9.099655E+00$ [Hz]	49
44	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 19. Eigenform, $f = 9.521930E+00$ [Hz]	50
45	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 20. Eigenform, $f = 1.015707E+01$ [Hz]	50
46	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 21. Eigenform, $f = 1.257504E+01$ [Hz]	51
47	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 22. Eigenform, $f = 1.459741E+01$ [Hz]	51
48	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 23. Eigenform, $f = 1.539019E+01$ [Hz]	52
49	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 24. Eigenform, $f = 1.698613E+01$ [Hz]	52
50	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 25. Eigenform, $f = 1.701000E+01$ [Hz]	53
51	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 26. Eigenform, $f = 1.856272E+01$ [Hz]	53
52	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 27. Eigenform, $f = 1.989669E+01$ [Hz]	54
53	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 28. Eigenform, $f = 2.000947E+01$ [Hz]	54
54	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 29. Eigenform, $f = 2.026801E+01$ [Hz]	55
55	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 30. Eigenform, $f = 2.135671E+01$ [Hz]	55

56	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 31. Eigenform, $f = 2.229447E+01$ [Hz]	56
57	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 32. Eigenform, $f = 2.265260E+01$ [Hz]	56
58	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 33. Eigenform, $f = 2.304815E+01$ [Hz]	57
59	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 34. Eigenform, $f = 2.518751E+01$ [Hz]	57
60	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 35. Eigenform, $f = 2.615387E+01$ [Hz]	58
61	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 36. Eigenform, $f = 2.626824E+01$ [Hz]	58
62	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 37. Eigenform, $f = 2.672213E+01$ [Hz]	59
63	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 38. Eigenform, $f = 2.899103E+01$ [Hz]	59
64	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 39. Eigenform, $f = 2.906864E+01$ [Hz]	60
65	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 40. Eigenform, $f = 3.065573E+01$ [Hz]	60
66	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 41. Eigenform, $f = 3.089878E+01$ [Hz]	61
67	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 42. Eigenform, $f = 3.214464E+01$ [Hz]	61
68	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 43. Eigenform, $f = 3.332541E+01$ [Hz]	62
69	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 44. Eigenform, $f = 3.710342E+01$ [Hz]	62
70	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 45. Eigenform, $f = 3.966279E+01$ [Hz]	63
71	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 46. Eigenform, $f = 4.033482E+01$ [Hz]	63
72	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 47. Eigenform, $f = 4.145880E+01$ [Hz]	64
73	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 48. Eigenform, $f = 4.330667E+01$ [Hz]	64
74	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 49. Eigenform, $f = 4.357318E+01$ [Hz]	65
75	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 50. Eigenform, $f = 4.386464E+01$ [Hz]	65
76	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 51. Eigenform, $f = 4.519809E+01$ [Hz]	66
77	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 52. Eigenform, $f = 4.553578E+01$ [Hz]	66
78	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 53. Eigenform, $f = 4.566866E+01$ [Hz]	67
79	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 54. Eigenform, $f = 4.676183E+01$ [Hz]	67
80	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 55. Eigenform, $f = 4.688603E+01$ [Hz]	68
81	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 56. Eigenform, $f = 4.764527E+01$ [Hz]	68
82	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 57. Eigenform, $f = 4.789441E+01$ [Hz]	69
83	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 58. Eigenform, $f = 5.210168E+01$ [Hz]	69
84	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 59. Eigenform, $f = 5.448549E+01$ [Hz]	70
85	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 60. Eigenform, $f = 5.460419E+01$ [Hz]	70
86	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 61. Eigenform, $f = 5.508235E+01$ [Hz]	71
87	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 62. Eigenform, $f = 5.569471E+01$ [Hz]	71
88	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 63. Eigenform, $f = 5.848200E+01$ [Hz]	72
89	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 64. Eigenform, $f = 5.905713E+01$ [Hz]	72
90	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 65. Eigenform, $f = 5.918101E+01$ [Hz]	73
91	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 66. Eigenform, $f = 5.971543E+01$ [Hz]	73
92	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 67. Eigenform, $f = 6.161551E+01$ [Hz]	74
93	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 68. Eigenform, $f = 6.188000E+01$ [Hz]	74
94	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 69. Eigenform, $f = 6.201774E+01$ [Hz]	75
95	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 70. Eigenform, $f = 6.604864E+01$ [Hz]	75
96	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 71. Eigenform, $f = 6.654504E+01$ [Hz]	76

97	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 72. Eigenform, $f = 6.729123E+01$ [Hz]	76
98	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 73. Eigenform, $f = 6.970203E+01$ [Hz]	77
99	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 74. Eigenform, $f = 7.102251E+01$ [Hz]	77
100	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 75. Eigenform, $f = 7.155745E+01$ [Hz]	78
101	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 76. Eigenform, $f = 7.285429E+01$ [Hz]	78
102	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 77. Eigenform, $f = 7.563373E+01$ [Hz]	79
103	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 78. Eigenform, $f = 7.577225E+01$ [Hz]	79
104	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 79. Eigenform, $f = 7.642355E+01$ [Hz]	80
105	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 80. Eigenform, $f = 7.673203E+01$ [Hz]	80
106	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 81. Eigenform, $f = 7.691322E+01$ [Hz]	81
107	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 82. Eigenform, $f = 7.944194E+01$ [Hz]	81
108	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 83. Eigenform, $f = 7.989196E+01$ [Hz]	82
109	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 84. Eigenform, $f = 8.058642E+01$ [Hz]	82
110	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 85. Eigenform, $f = 8.065354E+01$ [Hz]	83
111	ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 86. Eigenform, $f = 8.249264E+01$ [Hz]	83
112	Die Flugenveloppe der ALLEGRA-Konfiguration (Version S) mit den Design-Geschwindigkeiten	85

Tabellenverzeichnis

1	Daten der beiden ALLEGRA-S-Massenkonfigurationen C01 und C09 der Flutteruntersuchung	13
2	Die Eigenfrequenzen der beiden ALLEGRA-S-Massenkonfigurationen C01 und C09 .	14
3	Typisierung der Flutterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C01 (43,71 [t]) bei H=5400 [m]	15
4	Typisierung der Flutterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C09 (73,36 [t]) bei H=5400 [m]	15
5	Typisierung der Flutterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C01 (43,71 [t]) bei H=11000 [m]	16
6	Typisierung der Flutterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C09 (73,36 [t]) bei H=11000 [m]	16
7	Typisierung der Flutterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C01 (43,71 [t]) bei H=5400 [m] — mit TW-Gyroskopie und Schubvektor	17
8	Typisierung der Flutterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C09 (73,36 [t]) bei H=5400 [m] — mit TW-Gyroskopie und Schubvektor	17
9	Typisierung der Flutterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C01 (43,71 [t]) bei H=11000 [m] — mit TW-Gyroskopie und Schubvektor	18
10	Typisierung der Flutterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C09 (73,36 [t]) bei H=11000 [m] — mit TW-Gyroskopie und Schubvektor	18
11	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 8. Eigenform, $f = 4.6378$ [Hz], $EAS = 386.6380$ [m/sec], $TAS = 509.7366$ [m/sec] .	25
12	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 10. Eigenform, $f = 3.1210$ [Hz], $EAS = 293.3018$ [m/sec], $TAS = 386.6839$ [m/sec]	26
13	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 14. Eigenform, $f = 6.1403$ [Hz], $EAS = 360.4483$ [m/sec], $TAS = 475.2086$ [m/sec]	27
14	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 15. Eigenform, $f = 7.2880$ [Hz], $EAS = 337.1126$ [m/sec], $TAS = 444.4432$ [m/sec]	28
15	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 18. Eigenform, $f = 12.3209$ [Hz], $EAS = 276.5613$ [m/sec], $TAS = 364.6135$ [m/sec]	29
16	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 19. Eigenform, $f = 11.6098$ [Hz], $EAS = 289.3963$ [m/sec], $TAS = 381.5349$ [m/sec]	30
17	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 21. Eigenform, $f = 12.7075$ [Hz], $EAS = 293.6275$ [m/sec], $TAS = 387.1132$ [m/sec]	31
18	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09: 8. Eigenform, $f = 2.1282$ [Hz], $EAS = 300.1188$ [m/sec], $TAS = 395.6713$ [m/sec] .	32
19	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09: 9. Eigenform, $f = 4.3915$ [Hz], $EAS = 351.5576$ [m/sec], $TAS = 463.4872$ [m/sec] .	33
20	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09: 10. Eigenform, $f = 3.9517$ [Hz], $EAS = 292.4839$ [m/sec], $TAS = 385.6055$ [m/sec]	34

21	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:	
	12. Eigenform, $f = 4.4276$ [Hz], $EAS = 381.1892$ [m/sec], $TAS = 502.5529$ [m/sec]	35
22	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:	
	13. Eigenform, $f = 5.2546$ [Hz], $EAS = 321.9483$ [m/sec], $TAS = 424.4508$ [m/sec]	36
23	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:	
	17. Eigenform, $f = 12.3726$ [Hz], $EAS = 276.5922$ [m/sec], $TAS = 364.6541$ [m/sec]	37
24	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:	
	24. Eigenform, $f = 11.7860$ [Hz], $EAS = 278.8996$ [m/sec], $TAS = 367.6962$ [m/sec]	38
25	Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:	
	26. Eigenform, $f = 13.0382$ [Hz], $EAS = 275.8559$ [m/sec], $TAS = 363.6835$ [m/sec]	39
26	Die kritischen Fluggeschwindigkeiten der beiden ALLEGRA-S-Massenkonfigurationen C01 und C09 im Vergleich mit $1,15 * v_D$	84

Abkürzungen

ALLEGRA	Aeroelastic stability and Loads prediction for Enhanced Green Aircraft
CFK	Kohlenstoffaserverstärkte Kunststoffe
DLM	<i>Doublet-Lattice-Methode</i>
EAS	<i>Equivalent Air Speed</i>
FE	Finite Elemente
FEM	Finite-Elemente-Methode
FLG	Flügel, Tragflächen
HAP	Hauptarbeitspaket
H	Flughöhe
HLW	Höhenleitwerk
ISA	Internationale Standardatmosphäre
iGreen	DLR Projekt Integrated Green Aircraft
LamAir	DLR Projekt Laminar Aircraft
LW	Leitwerk
MAC	<i>Mean Aerodynamic Chord</i>
MFW	<i>Minimum Flying Weight</i>
MTOW	<i>Maximum Take-Off Weight</i>
Ru	Rumpf
SLW	Seitenleitwerk
SP	Schwerpunkt
TAS	<i>True Air Speed</i>
TW	Triebwerk
ant	antimetrisch
sym	symmetrisch
v_D	Design-Fluggeschwindigkeit <i>Dive</i> -Geschwindigkeit

1 Einleitung

In dem vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der Flutteruntersuchung an der ALLEGRA-Konfiguration in der Version „S“ vorgestellt. Die ALLEGRA-Konfiguration stellt den Entwurf eines laminaren Kurz- und Mittelstreckenflugzeuges dar, dessen markanteste Merkmale in einem T-Leitwerk, vorwärtsgepeilten Tragflächen und am Rumpfheck angeordneten Triebwerken bestehen. Die ALLEGRA-Konfiguration stellt eine Weiterentwicklung der vorangegangenen und ebenfalls auf den Schwerpunkt der Laminarhaltung der Flügelumströmung ausgelegten LamAir- und IGreen-Entwürfen dar, wobei die Version „S“ die erste vollständig in CFK ausgeführte Entwurfsvariante bildet.

Aus der Vielzahl der im Vorentwurf definierten Beladungszustände wurden in dieser Flutteranalyse stellvertretend die beiden Gewichtskonfigurationen c01 (ein minimales Fluggewicht) und c09 (ein maximales Fluggewicht) untersucht. Es wurden in den aeroelastischen Analysen zwei Flughöhen, d.h. mit $H=5400$ [m] eine mittlere und mit $H=11.000$ [m] eine große Flughöhe, angesetzt.

Das Ziel dieser aeroelastischen Untersuchung ist, hinsichtlich der Flugzustände und der dynamischen Stabilität (Flattern) innerhalb der Flugenveloppe einen sicheren Flugbetrieb nachzuweisen und — wenn vorhanden — mit der kritische Fluggeschwindigkeit (Fluttergeschwindigkeit) die Grenzen eines potentiellen Stabilitätsverlustes aufzuzeigen. Neben einigen dynamischen Charakteristika der ALLEGRA-Konfiguration, wie den Vakuum-Eigenformen, sind als Ergebnisse der Flutteranalyse die charakteristischen Größen der Eigenzustände im Stabilitätsverlust (Flutterformen und Flutterfrequenzen) dargestellt.

2 Das aeroelastische System

Im Rahmen des DLR-Projektes ALLEGRA wurde der Flugzeugentwurf ALLEGRA-S einer aeroelastischen dynamischen Analyse unterzogen. Gegenstand der Untersuchung ist das ALLEGRA-S-Strukturmodell, wie es in dem zugehörigen Projekt-HAP ASTOG (Aeroelastische Stabilität und Strukturoptimierung des Grünen Flugzeuges) als ein Finite-Elemente-Modell erstellt wurde. Die für die aeroelastische Untersuchung notwendige Simulation des Aerodynamikeinflusses wurde im Rahmen dieser Studie ein *doublet-lattice*-Gitter zur Beschreibung der instationären Oberflächendruckverteilung aus den Störgeschwindigkeiten aufgebaut (siehe Abb. 1). Zusammen mit dem FEM-Modell (siehe Abb. 2) der elastischen Flugzeugstruktur wird aus den bewegungsinduzierten Luftkräften die homogene Bewegungsgleichung aufgestellt, die eine anschließende lineare Stabilitätsuntersuchung erlaubt. Die Lösung des linearen Struktur-Eigenwertproblems erfolgte mit NASTRAN, während für den Aufbau und die Analyse der Flattergleichung der DLM-Löser ZAERO verwendet worden ist.

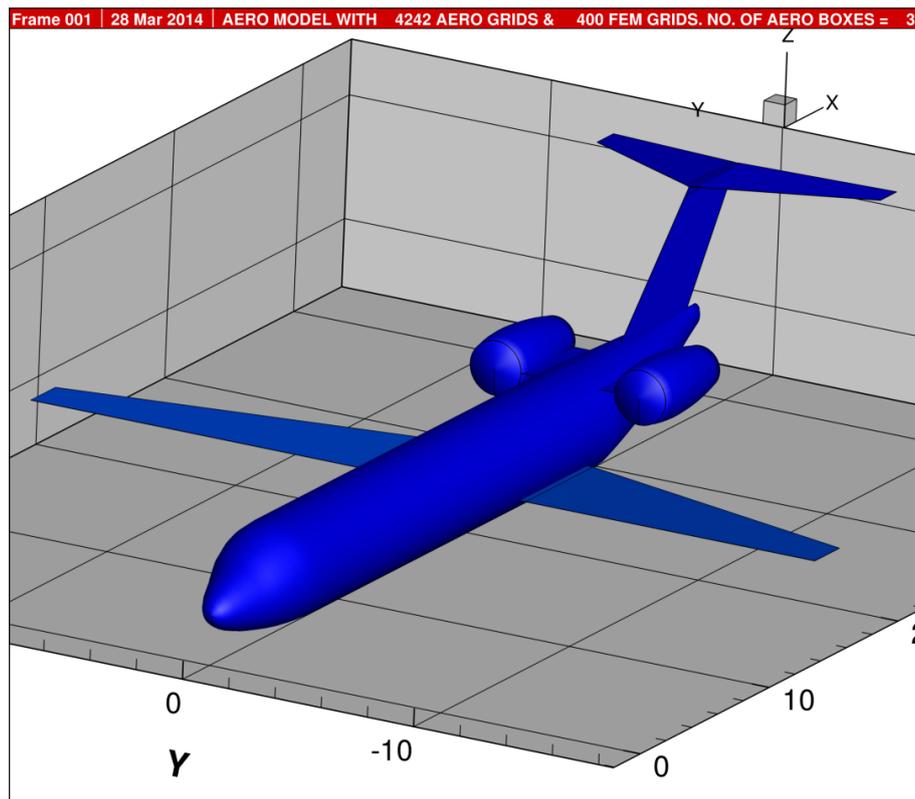


Abbildung 1: Das aerodynamische Modell zum Aufbau des DLM-Gitters

Einige wichtige Modellkennzahlen stehen in siehe Tab. 1. Für die Flatterrechnungen wurden mit den 6 Starrkörper- und den ersten 80 elastischen Eigenformen 86 Struktur-Eigenformen herangezogen. Die Eigenfrequenzen stehen in Tab. 2, während die normierten (Vakuum)-Eigenformen in Kapitel 4 dargestellt sind.

	Konfiguration C01	Konfiguration C09
Massenkategorie	MFW	MTOW
Masse [kg]	43712	73365
enthaltene Treibstoffmasse [kg] / [%]	0 / 0	16.980 / 100
SP-Lage [m]	19.637	20.239
Dateiname	allegra-s_fem_c01.nas	allegra-s_fem_c09.nas
NASTRAN-Löser	SOL 103	SOL 103
FE-Knoten (kondens.)	400	400
Aerodynamische Boxen	3828	3828
Anzahl Eigenformen	86	86

Tabelle 1: Daten der beiden ALLEGRA-S-Massenkonfigurationen C01 und C09 der Flutteruntersuchung

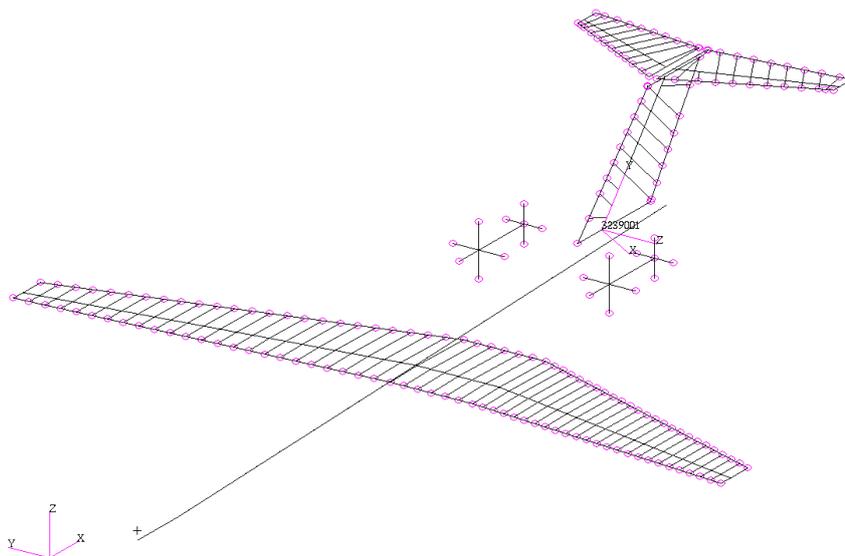


Abbildung 2: Das FEM-Modell zum Aufbau der Rumpf- und Flügel-Struktur

	C01	C09		C01	C09
1	.0109567	.0085028	44	37.10342	22.75795
2	.0077755	.0066414	45	39.66279	23.87799
3	.0015142	.0010113	46	40.33482	25.47362
4	.0009794	.0007539	47	41.45880	25.88656
5	.0087121	.0070756	48	43.30667	25.91703
6	.0100419	.0076665	49	43.57318	26.14454
7	3.320090	2.391466	50	43.86464	26.88928
8	3.384457	3.158704	51	45.19809	27.27055
9	3.988248	3.738196	52	45.53578	28.42730
10	4.736084	4.107055	53	45.66866	29.54781
11	4.907886	4.305937	54	46.76183	29.86105
12	5.312663	4.398948	55	46.88603	30.60807
13	5.868325	5.239396	56	47.64527	30.83960
14	6.991970	5.815116	57	47.89441	31.54222
15	7.325928	5.908714	58	52.10168	31.94855
16	7.586901	6.562583	59	54.48549	34.02469
17	7.705006	7.343470	60	54.60419	34.94819
18	9.099655	7.392673	61	55.08235	35.38181
19	9.521930	8.360976	62	55.69471	35.90380
20	10.15707	8.985075	63	58.48200	36.23082
21	12.57504	9.178486	64	59.05713	37.41947
22	14.59741	9.328819	65	59.18101	37.57232
23	15.39019	10.28963	66	59.71543	38.31884
24	16.98613	10.34356	67	61.61551	38.73460
25	17.01000	12.31081	68	61.88000	39.20254
26	18.56272	12.80715	69	62.01774	41.43562
27	19.89669	13.44855	70	66.04864	42.12707
28	20.00947	13.71178	71	66.54504	43.50618
29	20.26801	13.71904	72	67.29123	43.85421
30	21.35671	14.48654	73	69.70203	45.06293
31	22.29447	15.37113	74	71.02251	45.40143
32	22.65260	16.16967	75	71.55745	46.10035
33	23.04815	16.67120	76	72.85429	46.32136
34	25.18751	17.30990	77	75.63373	47.46931
35	26.15387	17.62403	78	75.77225	47.68076
36	26.26824	18.09614	79	76.42355	48.04167
37	26.72213	18.56105	80	76.73203	48.70808
38	28.99103	20.02031	81	76.91322	49.03371
39	29.06864	20.06117	82	79.44194	49.56459
40	30.65573	21.35827	83	79.89196	50.34653
41	30.89878	21.38382	84	80.58642	51.56331
42	32.14464	21.51934	85	80.65354	51.74823
43	33.32541	22.56775	86	82.49264	52.34874

Tabelle 2: Die Eigenfrequenzen der beiden ALLEGRA-S-Massenkonfigurationen C01 und C09

3 Die Flatteranalysen

Die Untersuchung des aeroelastischen Stabilitätsverhaltens des ALLEGRA-S-Modells wurde an zwei Gewichtskonfigurationen vorgenommen. Diese bestanden zum einen aus der unbeladenen, leichten Konfiguration „C01“ und zum anderen aus der schweren Konfiguration des vollen Beladungszustandes „C09“. Die Schwerpunktslagen und Gesamtgewichte sind in Tab. 1 angegeben. Die Flatteranalysen wurden in den beiden Flughöhen 5400 [m] und 11000 [m] mit den Luftdichten von $\rho = 0,70478$ [kg/m³] und $\rho = 0,363916$ [kg/m³] nach ISA durchgeführt. Mit den angegebenen Flughöhen und Beladungszuständen sind Flugzustände ausgewählt worden, die repräsentativ für den vorgesehenen Einsatzbereich des Flugzeuges stehen.

Eigenform Nr.	Frequenz f [Hz]	EAS [m/sec]	TAS [m/sec]	Typus
8.	f = 4.6378	386.6380	509.7366	SLW-Ru-Biegung
10.	f = 3.1210	293.3018	386.6839	SLW-Ru-Rollen
14.	f = 6.1403	360.4483	475.2086	FLG-vertk-ant (+TW)
15.	f = 7.2880	337.1126	444.4432	FLG-horiz-sym
18.	f = 12.3209	276.5613	364.6135	HLW-sym
19.	f = 11.6098	289.3963	381.5349	HLW-ant
21.	f = 12.7075	293.6275	387.1132	HLW-ant

Tabelle 3: Typisierung der Flatterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C01 (43,71 [t]) bei H=5400 [m]

Eigenform Nr.	Frequenz f [Hz]	EAS [m/sec]	TAS [m/sec]	Typus
8.	f = 2.1282	300.1188	395.6713	FLG-vertk-ant
9.	f = 4.3915	351.5576	463.4872	SLW-Ru-Biegung
10.	f = 3.9517	292.4839	385.6055	SLW-Ru-Biegung
12.	f = 4.4276	381.1892	502.5529	FLG-vertk-sym
13.	f = 5.2546	321.9483	424.4508	FLG-horiz-sym
17.	f = 12.3726	276.5922	364.6541	HLW-sym
24.	f = 11.7860	278.8996	367.6962	HLW-ant
26.	f = 13.0382	275.8559	363.6835	HLW-ant

Tabelle 4: Typisierung der Flatterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C09 (73,36 [t]) bei H=5400 [m]

Die ermittelten Flatterzustände sind Ergebnisse von *matched-point*-Analysen, in denen die Machzahl und die Fluggeschwindigkeit in den Bewegungsgleichungen (näherungsweise) in Übereinstimmung gebracht worden sind. Durch die Verwendung des Machzahl-Wertes 0,8 ist der wesentliche Einfluß der Kompressibilität der Anströmung — im Sinne der Potentialtheorie — in den Analysen mitberücksichtigt worden. Als wichtigste Ergebnisse der Flatterrechnungen sind in den Flatterkurven (siehe Abb. 3 bis 10) die aerodynamische Anfachung (= negative Dämpfung) und die Frequenzwerte des aeroelastischen Gesamtsystems aufgetragen. Die kritischen, instabilen Zustände werden in diesen durch das Passieren der x-Achse (Fluggeschwindigkeit) durch die Anfachungskurven in den positiven Wertebereich hinein markiert. Die Flatterformen sind in Kapitel 4 zum einen in der bildlichen Gestalt der (komplexen) Eigenformen und zum anderen in Tabellenform als Beteiligungsfaktoren der Vakkum-Eigenformen der jeweiligen Massenkonfiguration dargestellt.

Eigenform Nr.	Frequenz f [Hz]	EAS [m/sec]	TAS [m/sec]	Typus
6	f = 1.0642	288.1743	528.7162	FLG-vertk-sym (STK)
8	f = 4.6322	377.2701	692.1813	SLW-Ru-Biegung
9	f = 3.1409	287.2403	527.0026	SLW-Ru-Rollen
14	f = 6.1032	346.9164	636.4911	FLG-vertk-ant (+TW)
15	f = 7.2954	324.9937	596.2692	FLG-horiz-sym
17	f = 8.2715	394.3731	723.5602	FLG-vertk-ant
19	f = 11.5752	274.0789	502.8553	HLW-ant
20	f = 11.6241	250.2245	459.0895	HLW-sym
21	f = 12.7853	275.5320	505.5213	HLW-ant

Tabelle 5: Typisierung der Flatterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C01 (43,71 [t]) bei H=11000 [m]

Eigenform Nr.	Frequenz f [Hz]	EAS [m/sec]	TAS [m/sec]	Typus
8	f = 2.1244	296.5768	544.1323	FLG-vertk-ant
9	f = 3.9355	288.2857	528.9206	SLW-Ru-Biegung
10	f = 4.3504	344.2130	631.5309	SLW-Ru-Biegung
12	f = 4.4343	373.7581	685.7377	FLG-vertk-sym
13	f = 5.2549	314.7138	577.4086	FLG-horiz-sym
17	f = 10.1090	233.2369	427.9220	HLW-Ru-sym
23	f = 11.6184	250.1261	458.9088	HLW-sym
24	f = 11.7729	267.8616	491.4484	HLW-ant
26	f = 13.0394	264.2022	484.7344	HLW-ant
34	f = 17.5942	219.2790	402.3134	HLW-sym

Tabelle 6: Typisierung der Flatterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C09 (73,36 [t]) bei H=11000 [m]

Mit den Flatterfrequenzen und den zugehörigen (kritischen) Fluggeschwindigkeiten sind die genauen Kenndaten der Flatterzustände der beiden Flughöhen 5400 [m] und 11000 [m] in den vier Tabellen 3 bis 6 für die Beladungszustände „C01“ und „C09“ aufgeführt. Anhand dieser Angaben lassen sich auch in den Flatterkurven (siehe Abb. 3 bis 10) die zugehörigen Frequenzkurven und die Äste der aerodynamischen Anfachung wiederfinden.

Eigenform Nr.	Frequenz f [Hz]	EAS [m/sec]	TAS [m/sec]	Typus
8	f = 4.6368	386.5648	509.6401	SLW-Ru-Biegung
10	f = 3.1209	293.2994	386.6807	SLW-Ru-Rollen
14	f = 6.1406	360.5065	475.2853	FLG-vertk-ant (+TW)
15	f = 7.2879	337.1235	444.4576	FLG-horiz-sym
18	f = 12.3215	276.5346	364.5783	HLW-sym
19	f = 11.6092	289.4093	381.5520	HLW-ant
21	f = 12.7069	293.7147	387.2282	HLW-ant

Tabelle 7: Typisierung der Flatterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C01 (43,71 [t]) bei H=5400 [m] — mit TW-Gyroskopie und Schubvektor

Eigenform Nr.	Frequenz f [Hz]	EAS [m/sec]	TAS [m/sec]	Typus
8	f = 2.1283	300.1082	395.6572	FLG-vertk-ant
9	f = 4.3915	351.5621	463.4931	SLW-Ru-Biegung
10	f = 3.9517	292.4228	385.5249	SLW-Ru-Biegung
12	f = 4.4292	381.1021	502.4381	FLG-vertk-sym
13	f = 5.2547	322.0114	424.5341	FLG-horiz-sym
17	f = 12.3733	276.5656	364.6192	HLW-sym
24	f = 11.7857	278.9279	367.7335	HLW-ant
26	f = 13.0382	275.8989	363.7402	HLW-ant

Tabelle 8: Typisierung der Flatterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C09 (73,36 [t]) bei H=5400 [m] — mit TW-Gyroskopie und Schubvektor

Die nähere Betrachtung der Eigenformen der instabilen Zustände erlaubt eine phänomenologische Charakterisierung und eine Zusammenfassung der einzelnen kritischen Bewegungszustände in drei Gruppen, die in den rechten Spalten dieser Tabellen unter „Typus“ deklariert sind:

1. Die mit „HLW“ bezeichneten Zustände, bei denen die Flatterformen als ausgeprägte elastische Verformungen der Höhenleitwerksflosse örtliche Eigenformen am Leitwerk darstellen: Diese Zustände treten anti- und symmetrisch auf und gruppieren sich betragsmäßig um den Frequenzwert 12 [Hz].

2. Die mit „FLG“ bezeichneten globalen Zustände, bei denen das Leitwerk zwar auch elastisch verformt wird, aber gegenüber einer ausgeprägten Flügelverformung nicht mehr dominiert: Auch diese

Zustände treten anti- und symmetrisch auf. Ungewöhnlich ist hier das Auftreten einer symmetrischen Flatterform mit starker horizontaler Bewegungskomponente der Flügel in Flugrichtung. Die Möglichkeit zu einer Anregung dieser Form liefert eine mit der Schwenkbewegung der Flügel deutlich gekoppelten Torsionskomponente. Diese Form ist bei der Massenkonfiguration „C09“ nur sehr schwach angeregt (siehe Eigenform 13 in Tab. 4 und Abb. 5), die zugehörigen Anfachungskoeffizienten können aber, wie bei der Konfiguration „C01“ (siehe Eigenform 15 in Tab. 3 und Abb. 3), auch schnell ansteigen.

3. Die mit „SLW“ bezeichneten globalen Zustände, bei denen das Seitenleitwerk eine starke elastische Verformung erfährt: Die Höhenleitwerksflosse wird in dieser Flatterform mehr oder weniger als eine Starrkörperbewegung mitgeführt. Diese treten naturgemäß ausschließlich antimetrisch auf.

Eigenform Nr.	Frequenz f [Hz]	EAS [m/sec]	TAS [m/sec]	Typus
5	f = 1.0982 (+3.2 [%])	282.6246 (-1.9 [%])	518.5342	FLG-vertk-sym (STK)
8	f = 4.6312	377.1631	691.9848	SLW-Ru-Biegung
9	f = 3.1408	287.2391	527.0004	SLW-Ru-Rollen
14	f = 6.1033	346.9854	636.6177	FLG-vertk-ant (+TW)
15	f = 7.2954	325.0003	596.2813	FLG-horiz-sym
17	f = 8.2723	394.2786	723.3868	FLG-vertk-ant
19	f = 11.5748	274.1028	502.8990	HLW-ant
20	f = 11.6245	250.1980	459.0407	HLW-sym
21	f = 12.7850	275.5964	505.6394	HLW-ant

Tabelle 9: Typisierung der Flatterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C01 (43,71 [t]) bei H=11000 [m] — mit TW-Gyroskopie und Schubvektor

Eigenform Nr.	Frequenz f [Hz]	EAS [m/sec]	TAS [m/sec]	Typus
8	f = 2.1246	296.5677	544.1157	FLG-vertk-ant
9	f = 3.9355	288.2479	528.8513	SLW-Ru-Biegung
10	f = 4.3504	344.2174	631.5391	SLW-Ru-Biegung
12	f = 4.4359	373.6888	685.6105	FLG-vertk-sym
13	f = 5.2550	314.8559	577.6693	FLG-horiz-sym
17	f = 10.1093	233.2311	427.9114	HLW-Ru-sym
23	f = 11.6188	250.1005	458.8618	HLW-sym
24	f = 11.7726	267.8917	491.5036	HLW-ant
26	f = 13.0395	264.2407	484.8050	HLW-ant
34	f = 17.5939	219.2486	402.2576	HLW-sym

Tabelle 10: Typisierung der Flatterformen der ALLEGRA-S-Massenkonfiguration C09 (73,36 [t]) bei H=11000 [m] — mit TW-Gyroskopie und Schubvektor

An den Werten der Flattergeschwindigkeiten der instabilen Zustände läßt sich erkennen, daß in allen untersuchten Fällen die örtlich dominanten Höhenleitwerksformen („HLW“) als erste einen Stabilitätsverlust erleiden. Die übrigen Flatterzustände liegen darüber in einem höheren Geschwindigkeitsbereich. Allen Flatterzuständen gemeinsam ist, daß durch das Hochsetzen der Werte von Flughöhe und/oder der Flugmachzahl die jeweilige instabile Geschwindigkeit (als EAS betrachtet) absinkt. (vergleiche z.B. die Anfachungskurven für die beiden Flughöhen 5400 [m] und 1100 [m] in den Abbildungen 3 und 7). Die instabilen Fluggeschwindigkeiten für die beiden Massenkonfigurationen unterscheiden sich z.T. deutlich voneinander. Die wichtige niedrigste Flattergeschwindigkeit als die für den ALLEGRA-S-Entwurf kritische (und damit dimensionierende) Fluggeschwindigkeit ändert sich bei einer vorgegebenen Flughöhe für die beiden Massenkonfigurationen dagegen nur unmerklich. Der Grund hierfür liegt darin begründet, daß sie von den „lokalen“ Eigenformen des Höhenleitwerk-Flatterns geprägt wird. Zwei markante Erscheinungsformen unter den Flatterzuständen sind besonders hervorzuheben: Die Seitenleitwerksformen lassen sich durch die Betrachtung der jeweils miteinhergehenden Rumpfbewegung — besonders deutlich bei der Massenkonfiguration „C01“ — voneinander abgrenzen. Bei einigen dieser Formen wird die Rumpfröhre stark lateral gebogen (siehe z.B. Eigenform Nr. 8 in Abb. 11 und Tab. 3), während bei den anderen Seitenleitwerks-dominierten Formen der Rumpf weniger stark elastisch verformt wird, dafür aber eine ausgeprägte Rollbewegung ausführt (siehe im Vergleich dazu Eigenform Nr. 10 in Abb. 12 und Tab. 3). Ein anderes charakteristisches Unterscheidungsmerkmal ist bei der 6,1403 [Hz] Form (14. Eigenform in Tab. 3) die starke gegenläufige Relativbewegung der Triebwerksgondeln zum Rumpf in Form von vertikaler Schlagbewegung (hier markiert mit „+TW“) der Gondeln.

Die aeroelastischen Simulationen zur Flatteruntersuchung sind an der Basisversion des ALLEGRA-S-Modells für zwei Beladungszustände (43.7 und 73.3 [t]) in jeweils zwei Flughöhen (5400 und 11000 [m]) durchgeführt worden. Das Simulationsmodell der Basisversion wurde darüberhinaus um die beiden physikalischen Effekte des Schubvektors und der gyroskopischen Wirkung des Triebwerkrotors, die aus dem Betrieb der Triebwerke im Flug herrühren, erweitert. (Das Verfahren der modalen Korrektur ist in der Literaturstelle [12] genau beschrieben und an einem Modell des VFW 614 (ATTAS) angewendet worden.) In Entsprechung der Tabellen 3 – 6 für der vier Basisfälle sind in den Tabellen 7 – 10 die Ergebnisse für die Flatterrechnungen mit den um Schubvektor und Gyroskopie erweiterten aeroelastischen Modellen angegeben. Auf die zahlenmäßigen Unterschiede der erweiterten Simulationen muß nicht weiter eingegangen werden, da der Vergleich zeigt, daß diese klein sind und in der Regel im Bereich der numerischen Auflösung liegen. Der physikalische Grund hierfür ist in der Aufhängung und Positionierung der Triebwerke direkt an der Rumpfröhre zu finden. Die Aufhängungssteifigkeit ist dabei so groß, daß die Triebwerksgondeln dadurch kaum eine Möglichkeit bekommen, an den Flatterformen mit einer eigenen Kreisbewegung nickend oder gierend teilzuhaben (und diese damit zu verändern). Eine Ausnahme bildet der erste Flatterfall in Tabelle 9: Die Eigenform Nr.5, eine Starrkörper-dominierte Nick- und Schlagbewegung, weist sowohl in der Flatterfrequenz als auch in der kritischen Fluggeschwindigkeit relative Veränderungen von +3.2 und –1.9 [%] auf.

Die bildliche Darstellung der (komplexen) Flatterformen der Massenkonfigurationen „C01“ und „C09“ bei Flughöhe 5400 [m] folgt in Kapitel 4 (siehe Abb. 11 bis 25). Sowohl diese, als auch die in Kapitel 5 abgebildeten Vakuum-Eigenformen der Massenkonfiguration „C01“ bilden die auf das aerodynamische Gitter interpolierten Strukturverformungen ab. Kapitel 5 enthält die 6 Starrkörper-Eigenformen sowie den vollständigen Satz der 80 verwendeten elastischen Struktureigenformen.

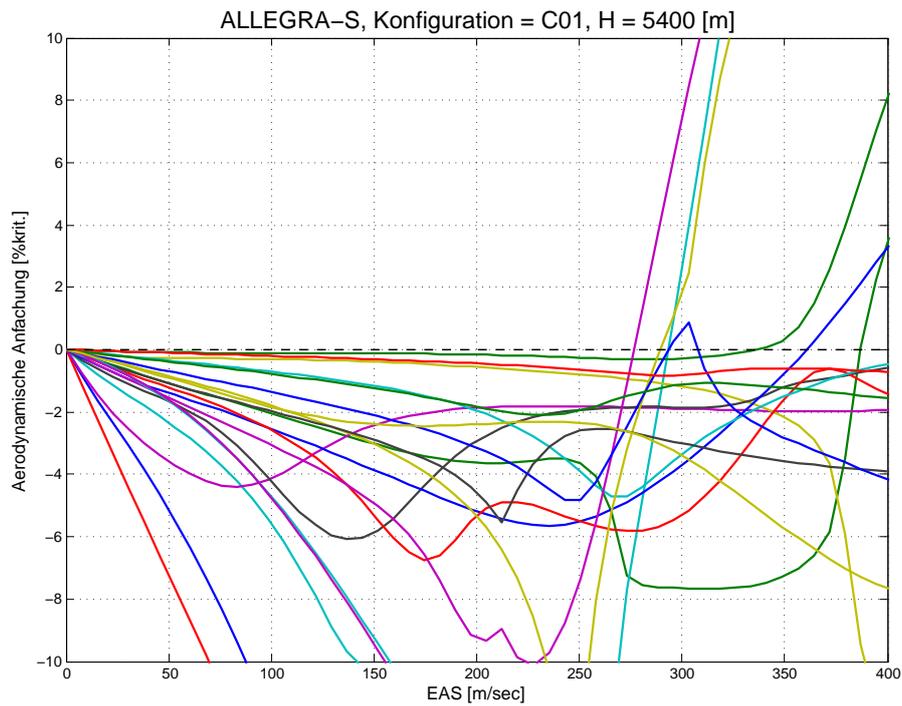


Abbildung 3: Aerodynamische Anfachung der ersten 20 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c01, ISA 15°C, H = 5400 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 3 und Abb. 11 – 17)

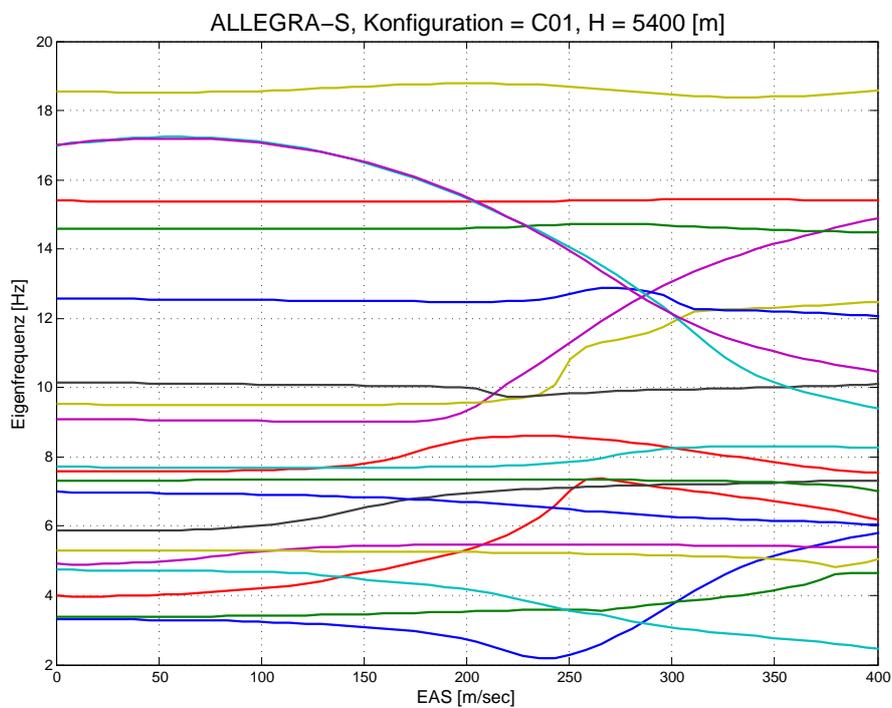


Abbildung 4: Frequenzkurven der ersten 20 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c01, ISA 15°C, H = 5400 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 3 und Abb. 11 – 17)

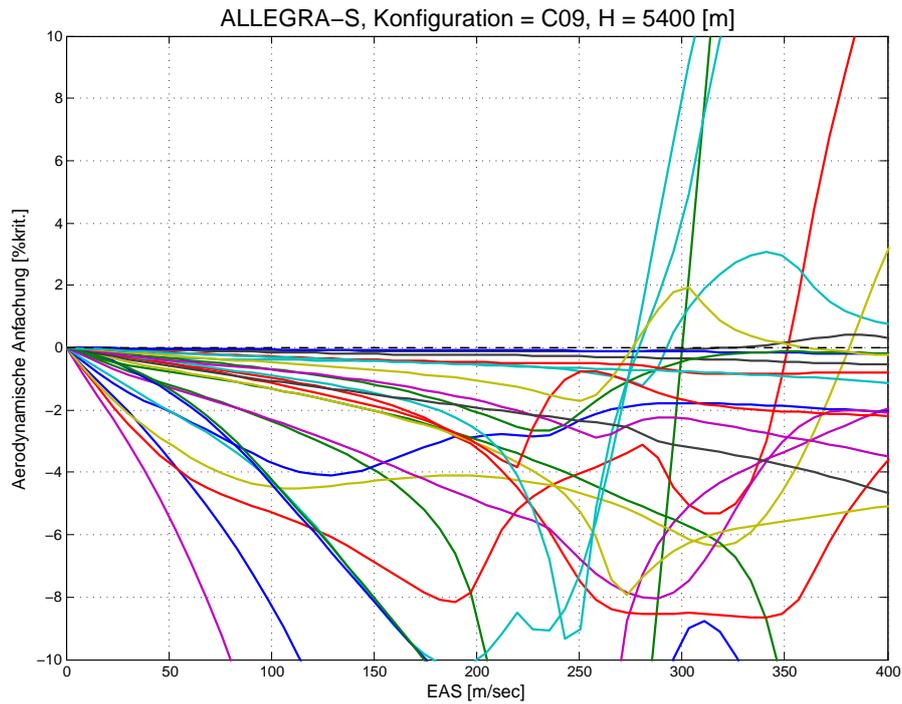


Abbildung 5: Aerodynamische Anfachung der ersten 25 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c09, ISA 15°C, H = 5400 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 4 und Abb. 18 – 25)

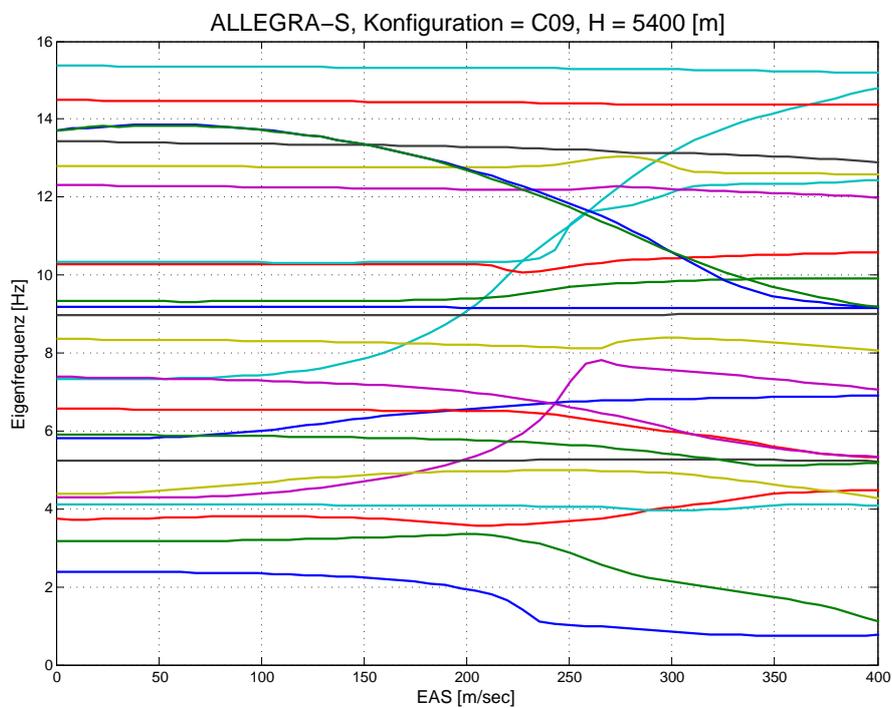


Abbildung 6: Frequenzkurven der ersten 25 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c09, ISA 15°C, H = 5400 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 4 und Abb. 18 – 25)

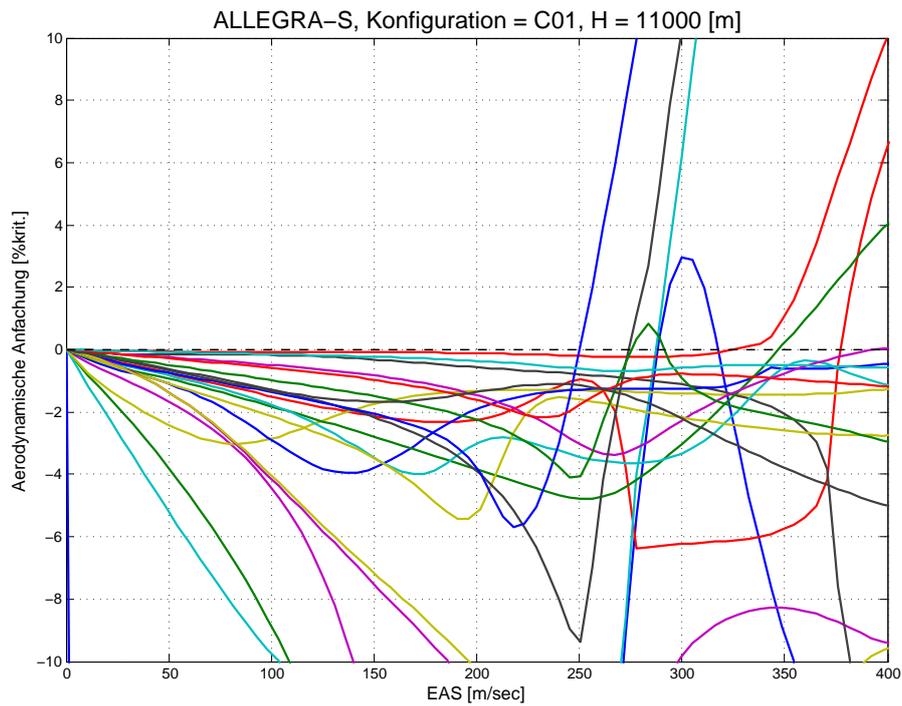


Abbildung 7: Aerodynamische Anfachung der ersten 20+1 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c01, ISA 15°C, H = 11000 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 5)

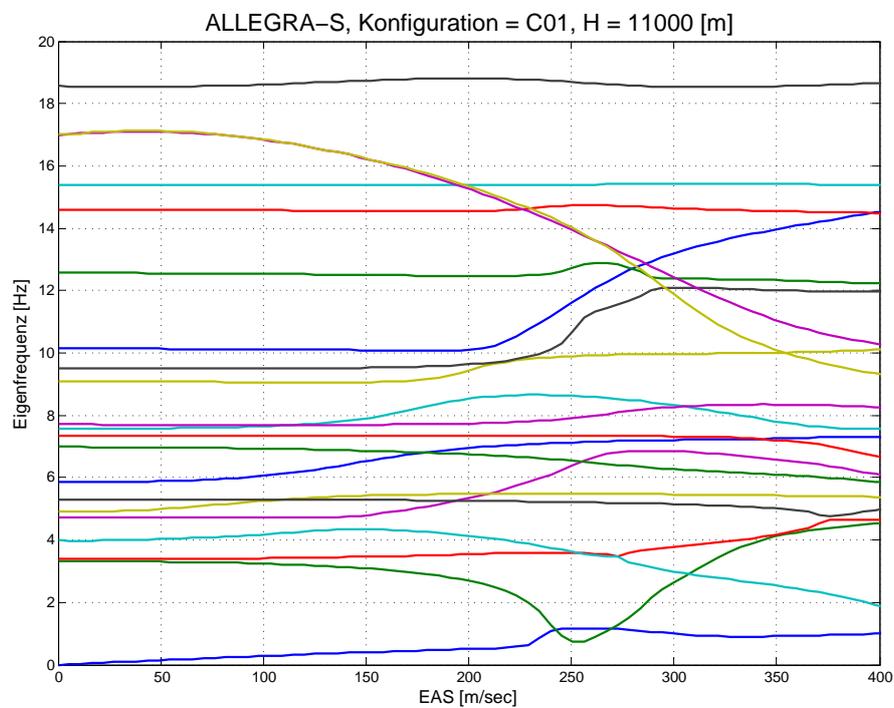


Abbildung 8: Frequenzkurven der ersten 20+1 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c01, ISA 15°C, H = 11000 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 5)

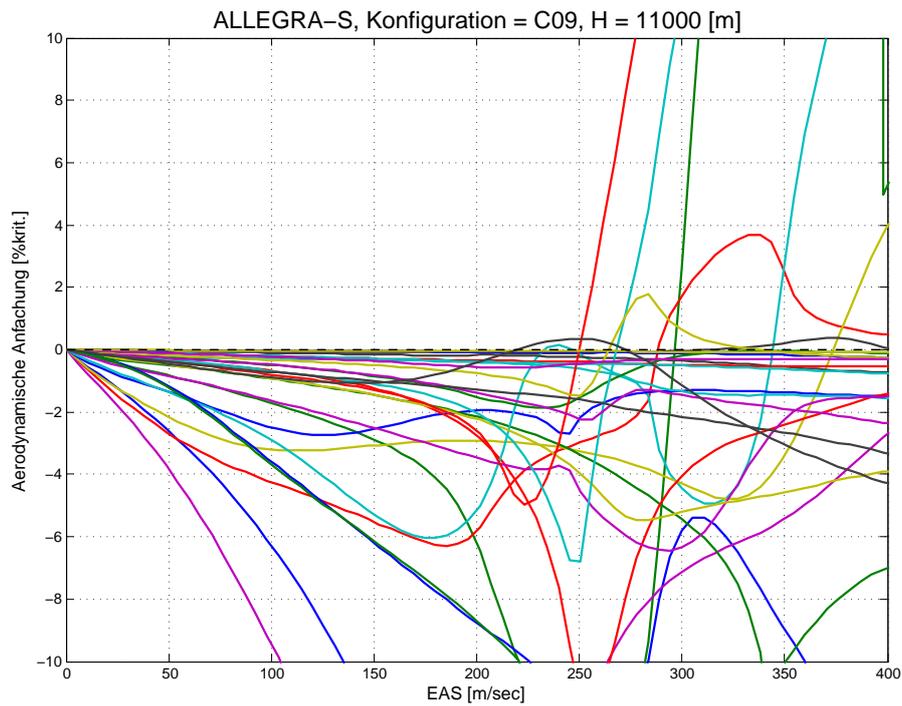


Abbildung 9: Aerodynamische Anfachung der ersten 28 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c09, ISA 15°C, H = 11000 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 6)

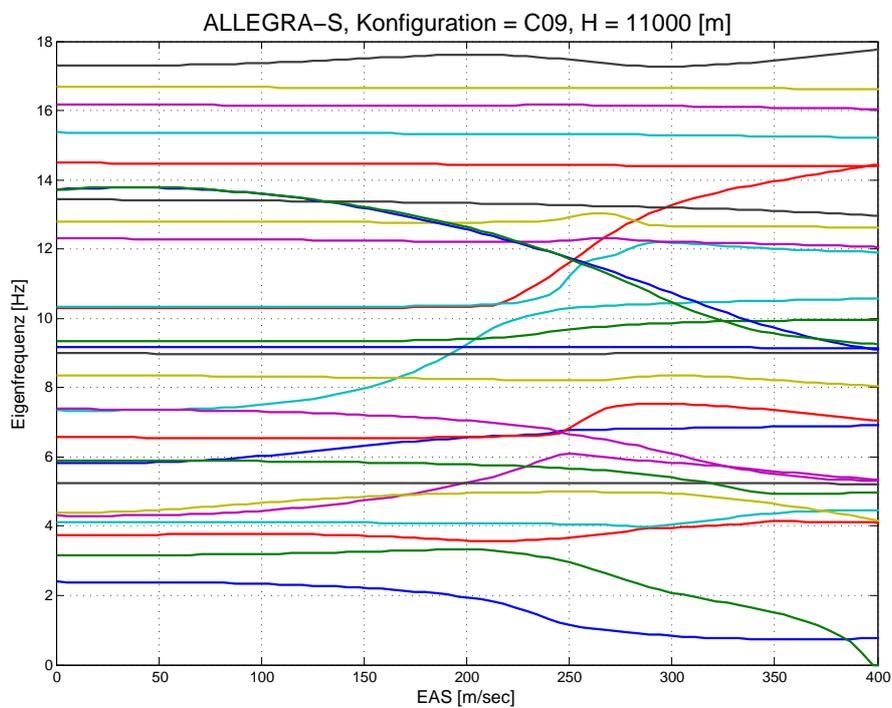


Abbildung 10: Frequenzkurven der ersten 28 elastischen Eigenformen, ALLEGRA-S, Konfiguration c09, ISA 15°C, H = 11000 [m] (zu den Flutterformen vgl. Tab. 6)

4 Die Flutterformen

Neben den Eigenfrequenzen und den kritischen Fluggeschwindigkeiten als den wichtigen Kenngrößen der dynamisch instabilen Flugzustände geben die zugehörigen Flutterformen maßgeblich Auskunft über den Charakter des jeweiligen Stabilitätsversagens. Die z.T. hochgradig komplexen Eigenformen beschreiben die (zeitlich) phasenversetzte Verformung der Flugzeugstruktur.

In diesem Kapitel werden die Flutterformen der beiden Gewichtskonfigurationen c01 (minimales Fluggewicht) und c09 (maximales Fluggewicht) für die Flughöhe $H=5400$ [m] dargestellt. Diesen Flutterfällen zugehörig sind die Tabellen 3 und 4. Der Bewegungscharakter der Flutterformen ist dort in der rechten Spalte unter der Rubrik „Typus“ erfaßt. Die Verformungen sind hier zum einen als bildliche Darstellung („Momentaufnahme“) und zum anderen als Beteiligungsfaktoren in der Bezugsbasis der zugrundeliegenden Vakuum-Eigenformen angegeben. Die mitangegebenen Ordnungsnummern der Flattereigenformen sind nicht immer eindeutig. Sie beziehen sich ursprünglich auf die Eigenwertlösung des aeroelastischen Gesamtsystems, werden manchmal aber auch von Funktionsstörungen des Pfadverfolgungs-Algorithmus des Flutterlösers ZAERO mitbeeinflußt („Platztausch“ der Eigenformen bei zunehmender Fluggeschwindigkeit).

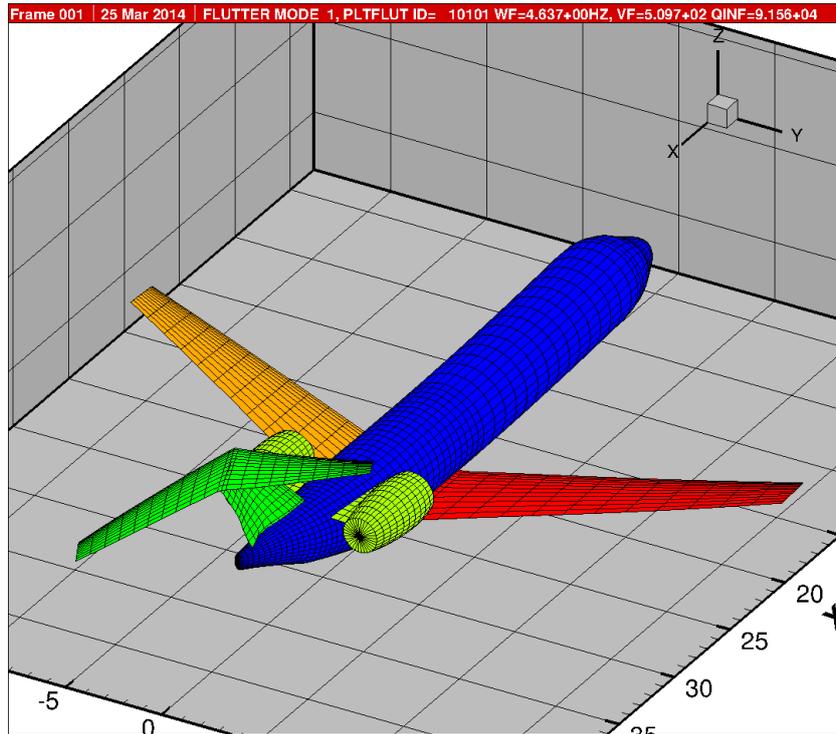


Abbildung 11: 1. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c01:

8. Eigenform, $f = 4.6378$ [Hz], $EAS = 386.6380$ [m/sec], $TAS = 509.7366$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.									
MODE(1) = 0.0000%,	MODE(2) = 1.9922%,	MODE(3) = 0.0006%,	MODE(4) = 11.4619%,	MODE(5) = 0.0071%,					
MODE(6) = 6.4916%,	MODE(7) = 0.0066%,	MODE(8) = 100.0000%,	MODE(9) = 49.6209%,	MODE(10) = 39.4445%,					
MODE(11) = 0.0040%,	MODE(12) = 28.3880%,	MODE(13) = 0.0002%,	MODE(14) = 9.5224%,	MODE(15) = 0.0002%,					
MODE(16) = 0.0008%,	MODE(17) = 31.3227%,	MODE(18) = 0.0172%,	MODE(19) = 64.2562%,	MODE(20) = 0.0157%,					
MODE(21) = 5.1511%,	MODE(22) = 2.2036%,	MODE(23) = 0.0001%,	MODE(24) = 0.0019%,	MODE(25) = 20.3362%,					
MODE(26) = 0.0006%,	MODE(27) = 1.1850%,	MODE(28) = 0.0004%,	MODE(29) = 0.1269%,	MODE(30) = 6.8177%,					
MODE(31) = 0.0003%,	MODE(32) = 0.0005%,	MODE(33) = 0.0234%,	MODE(34) = 0.0000%,	MODE(35) = 0.4025%,					
MODE(36) = 0.0005%,	MODE(37) = 0.2457%,	MODE(38) = 0.0001%,	MODE(39) = 1.5045%,	MODE(40) = 0.0002%,					
MODE(41) = 2.0958%,	MODE(42) = 0.0001%,	MODE(43) = 0.0092%,	MODE(44) = 3.6938%,	MODE(45) = 0.0005%,					
MODE(46) = 0.2020%,	MODE(47) = 0.0000%,	MODE(48) = 0.0001%,	MODE(49) = 0.4805%,	MODE(50) = 2.1694%,					
MODE(51) = 0.4825%,	MODE(52) = 0.0003%,	MODE(53) = 0.3264%,	MODE(54) = 0.0009%,	MODE(55) = 0.4537%,					
MODE(56) = 0.0070%,	MODE(57) = 5.4973%,	MODE(58) = 0.0003%,	MODE(59) = 0.1662%,	MODE(60) = 0.0000%,					
MODE(61) = 0.1007%,	MODE(62) = 0.0017%,	MODE(63) = 0.1397%,	MODE(64) = 0.0027%,	MODE(65) = 0.6277%,					
MODE(66) = 0.0403%,	MODE(67) = 0.0006%,	MODE(68) = 0.0006%,	MODE(69) = 0.0135%,	MODE(70) = 0.0000%,					
MODE(71) = 0.0046%,	MODE(72) = 0.1011%,	MODE(73) = 0.0001%,	MODE(74) = 0.1952%,	MODE(75) = 0.0000%,					
MODE(76) = 0.0000%,	MODE(77) = 0.0000%,	MODE(78) = 0.2956%,	MODE(79) = 0.0030%,	MODE(80) = 0.0040%,					
MODE(81) = 0.0000%,	MODE(82) = 0.0656%,	MODE(83) = 0.0000%,	MODE(84) = 0.0409%,	MODE(85) = 0.0025%,					
MODE(86) = 0.0000%,									

Tabelle 11: Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c01:

8. Eigenform, $f = 4.6378$ [Hz], $EAS = 386.6380$ [m/sec], $TAS = 509.7366$ [m/sec]

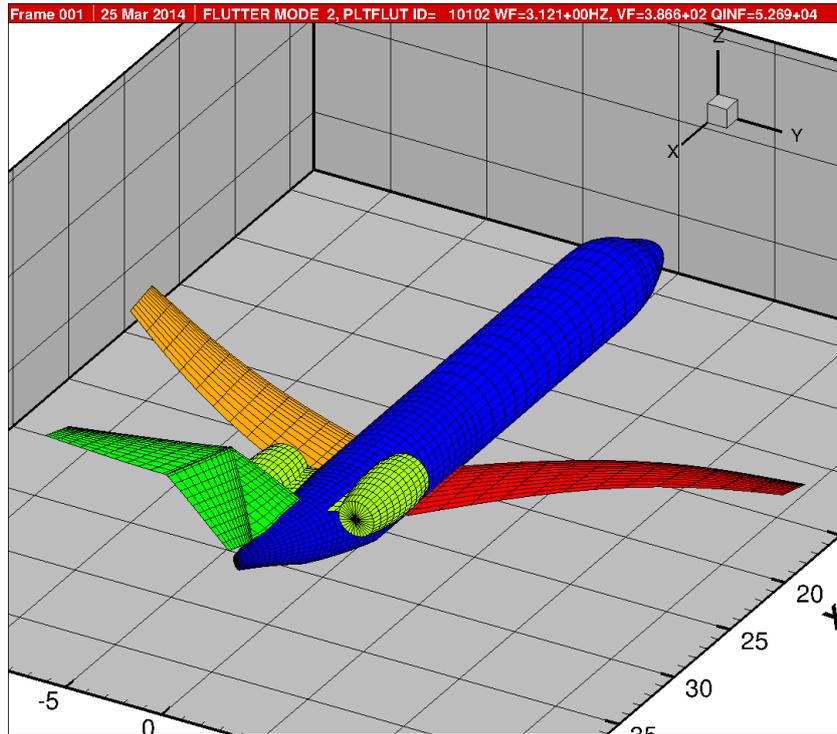


Abbildung 12: 2. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c01:

10. Eigenform, $f = 3.1210$ [Hz], $EAS = 293.3018$ [m/sec], $TAS = 386.6839$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.									
MODE(1) = 0.0000%,	MODE(2) = 0.6003%,	MODE(3) = 0.0001%,	MODE(4) = 44.2676%,	MODE(5) = 0.0006%,					
MODE(6) = 0.8974%,	MODE(7) = 0.0009%,	MODE(8) = 13.9995%,	MODE(9) = 19.0704%,	MODE(10) = 57.8243%,					
MODE(11) = 0.0055%,	MODE(12) = 0.5247%,	MODE(13) = 0.0000%,	MODE(14) = 9.4488%,	MODE(15) = 0.0001%,					
MODE(16) = 0.0001%,	MODE(17) = 2.0266%,	MODE(18) = 0.0028%,	MODE(19) = 10.1764%,	MODE(20) = 0.0044%,					
MODE(21) = 2.6336%,	MODE(22) = 0.3962%,	MODE(23) = 0.0000%,	MODE(24) = 0.0096%,	MODE(25) = 100.0000%,					
MODE(26) = 0.0000%,	MODE(27) = 0.9773%,	MODE(28) = 0.0004%,	MODE(29) = 0.0999%,	MODE(30) = 0.4246%,					
MODE(31) = 0.0000%,	MODE(32) = 0.0000%,	MODE(33) = 0.0062%,	MODE(34) = 0.0000%,	MODE(35) = 0.1671%,					
MODE(36) = 0.0002%,	MODE(37) = 0.0975%,	MODE(38) = 0.0000%,	MODE(39) = 0.4547%,	MODE(40) = 0.0001%,					
MODE(41) = 4.9210%,	MODE(42) = 0.0000%,	MODE(43) = 0.0916%,	MODE(44) = 0.4200%,	MODE(45) = 0.0000%,					
MODE(46) = 0.0577%,	MODE(47) = 0.0000%,	MODE(48) = 0.0000%,	MODE(49) = 0.2620%,	MODE(50) = 0.1303%,					
MODE(51) = 0.1879%,	MODE(52) = 0.0001%,	MODE(53) = 0.1728%,	MODE(54) = 0.0002%,	MODE(55) = 0.0546%,					
MODE(56) = 0.0001%,	MODE(57) = 0.0824%,	MODE(58) = 0.0000%,	MODE(59) = 0.0260%,	MODE(60) = 0.0000%,					
MODE(61) = 0.0688%,	MODE(62) = 0.0006%,	MODE(63) = 0.0193%,	MODE(64) = 0.0000%,	MODE(65) = 0.0095%,					
MODE(66) = 0.0022%,	MODE(67) = 0.0001%,	MODE(68) = 0.0002%,	MODE(69) = 0.0301%,	MODE(70) = 0.0000%,					
MODE(71) = 0.0036%,	MODE(72) = 0.0037%,	MODE(73) = 0.0000%,	MODE(74) = 0.0214%,	MODE(75) = 0.0000%,					
MODE(76) = 0.0000%,	MODE(77) = 0.0000%,	MODE(78) = 0.0253%,	MODE(79) = 0.0097%,	MODE(80) = 0.0013%,					
MODE(81) = 0.0000%,	MODE(82) = 0.0034%,	MODE(83) = 0.0000%,	MODE(84) = 0.0021%,	MODE(85) = 0.0001%,					
MODE(86) = 0.0000%,									

Tabelle 12: Beteiligungs-faktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c01:

10. Eigenform, $f = 3.1210$ [Hz], $EAS = 293.3018$ [m/sec], $TAS = 386.6839$ [m/sec]

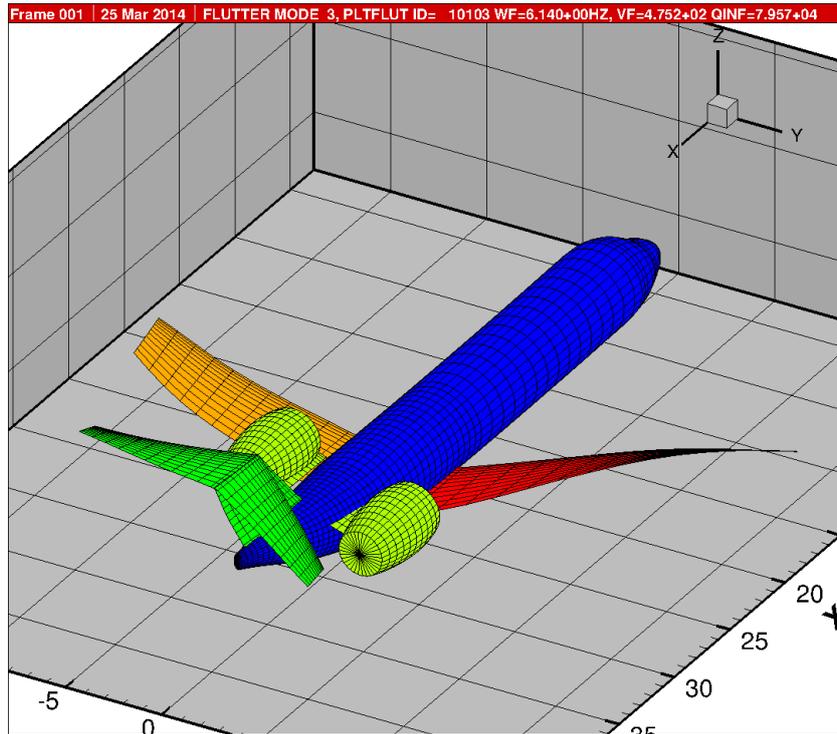


Abbildung 13: 3. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c01:

14. Eigenform, $f = 6.1403$ [Hz], $EAS = 360.4483$ [m/sec], $TAS = 475.2086$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.									
MODE(1) = 0.0000%,	MODE(2) = 0.4667%,	MODE(3) = 0.0001%,	MODE(4) = 40.8666%,	MODE(5) = 0.0005%,	MODE(6) = 0.5783%,	MODE(7) = 0.0005%,	MODE(8) = 6.8706%,	MODE(9) = 65.5298%,	MODE(10) = 75.2135%,
MODE(11) = 0.0054%,	MODE(12) = 3.9924%,	MODE(13) = 0.0002%,	MODE(14) = 100.0000%,	MODE(15) = 0.0005%,	MODE(16) = 0.0004%,	MODE(17) = 7.9278%,	MODE(18) = 0.0094%,	MODE(19) = 16.2570%,	MODE(20) = 0.0075%,
MODE(21) = 10.8454%,	MODE(22) = 3.2480%,	MODE(23) = 0.0000%,	MODE(24) = 0.0129%,	MODE(25) = 99.9903%,	MODE(26) = 0.0004%,	MODE(27) = 2.1000%,	MODE(28) = 0.0010%,	MODE(29) = 0.4014%,	MODE(30) = 4.0485%,
MODE(31) = 0.0001%,	MODE(32) = 0.0002%,	MODE(33) = 0.0933%,	MODE(34) = 0.0001%,	MODE(35) = 0.4852%,	MODE(36) = 0.0008%,	MODE(37) = 0.2578%,	MODE(38) = 0.0000%,	MODE(39) = 0.4561%,	MODE(40) = 0.0001%,
MODE(41) = 20.7717%,	MODE(42) = 0.0000%,	MODE(43) = 0.4487%,	MODE(44) = 1.0206%,	MODE(45) = 0.0001%,	MODE(46) = 0.1580%,	MODE(47) = 0.0000%,	MODE(48) = 0.0001%,	MODE(49) = 1.1483%,	MODE(50) = 0.6522%,
MODE(51) = 0.3956%,	MODE(52) = 0.0006%,	MODE(53) = 0.8324%,	MODE(54) = 0.0009%,	MODE(55) = 0.3070%,	MODE(56) = 0.0015%,	MODE(57) = 1.2005%,	MODE(58) = 0.0001%,	MODE(59) = 0.0437%,	MODE(60) = 0.0000%,
MODE(61) = 0.2520%,	MODE(62) = 0.0016%,	MODE(63) = 0.0351%,	MODE(64) = 0.0003%,	MODE(65) = 0.0608%,	MODE(66) = 0.0101%,	MODE(67) = 0.0002%,	MODE(68) = 0.0003%,	MODE(69) = 0.0739%,	MODE(70) = 0.0000%,
MODE(71) = 0.0076%,	MODE(72) = 0.0158%,	MODE(73) = 0.0000%,	MODE(74) = 0.0275%,	MODE(75) = 0.0000%,	MODE(76) = 0.0000%,	MODE(77) = 0.0000%,	MODE(78) = 0.0281%,	MODE(79) = 0.0350%,	MODE(80) = 0.0027%,
MODE(81) = 0.0000%,	MODE(82) = 0.0181%,	MODE(83) = 0.0000%,	MODE(84) = 0.0098%,	MODE(85) = 0.0006%,	MODE(86) = 0.0000%,				

Tabelle 13: Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c01:

14. Eigenform, $f = 6.1403$ [Hz], $EAS = 360.4483$ [m/sec], $TAS = 475.2086$ [m/sec]

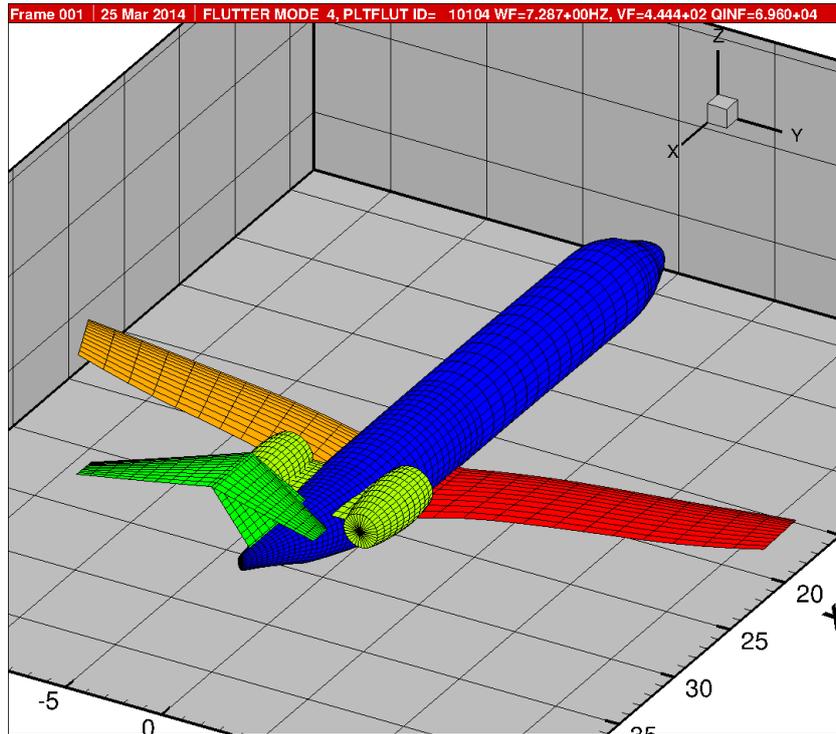


Abbildung 14: 4. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c01:

15. Eigenform, $f = 7.2880$ [Hz], $EAS = 337.1126$ [m/sec], $TAS = 444.4432$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.										
MODE(1) = 0.0003%,	MODE(2) = 0.0000%,	MODE(3) = 3.4994%,	MODE(4) = 0.0001%,	MODE(5) = 0.2359%,						
MODE(6) = 0.0001%,	MODE(7) = 57.8327%,	MODE(8) = 0.0018%,	MODE(9) = 0.0010%,	MODE(10) = 0.0002%,						
MODE(11) = 2.6297%,	MODE(12) = 0.0001%,	MODE(13) = 1.5395%,	MODE(14) = 0.0023%,	MODE(15) = 24.3267%,						
MODE(16) = 44.3614%,	MODE(17) = 0.0019%,	MODE(18) = 31.0066%,	MODE(19) = 0.0637%,	MODE(20) = 14.6988%,						
MODE(21) = 0.0000%,	MODE(22) = 0.0000%,	MODE(23) = 0.1773%,	MODE(24) = 100.0000%,	MODE(25) = 0.0106%,						
MODE(26) = 0.5852%,	MODE(27) = 0.0005%,	MODE(28) = 1.8157%,	MODE(29) = 0.0002%,	MODE(30) = 0.0004%,						
MODE(31) = 0.0913%,	MODE(32) = 0.2613%,	MODE(33) = 0.0000%,	MODE(34) = 0.2005%,	MODE(35) = 0.0000%,						
MODE(36) = 0.1419%,	MODE(37) = 0.0000%,	MODE(38) = 0.1586%,	MODE(39) = 0.0000%,	MODE(40) = 16.4664%,						
MODE(41) = 0.0000%,	MODE(42) = 4.0555%,	MODE(43) = 0.0000%,	MODE(44) = 0.0001%,	MODE(45) = 0.0267%,						
MODE(46) = 0.0000%,	MODE(47) = 0.0488%,	MODE(48) = 1.0352%,	MODE(49) = 0.0000%,	MODE(50) = 0.0000%,						
MODE(51) = 0.0000%,	MODE(52) = 0.8635%,	MODE(53) = 0.0008%,	MODE(54) = 0.0744%,	MODE(55) = 0.0003%,						
MODE(56) = 0.0784%,	MODE(57) = 0.0002%,	MODE(58) = 0.0372%,	MODE(59) = 0.0000%,	MODE(60) = 0.1164%,						
MODE(61) = 0.0000%,	MODE(62) = 0.0010%,	MODE(63) = 0.0000%,	MODE(64) = 0.0019%,	MODE(65) = 0.0000%,						
MODE(66) = 0.0000%,	MODE(67) = 0.0703%,	MODE(68) = 0.0311%,	MODE(69) = 0.0000%,	MODE(70) = 0.0188%,						
MODE(71) = 0.0000%,	MODE(72) = 0.0000%,	MODE(73) = 0.0019%,	MODE(74) = 0.0000%,	MODE(75) = 0.0011%,						
MODE(76) = 0.0023%,	MODE(77) = 0.0063%,	MODE(78) = 0.0000%,	MODE(79) = 0.0000%,	MODE(80) = 0.0000%,						
MODE(81) = 0.0323%,	MODE(82) = 0.0000%,	MODE(83) = 0.0052%,	MODE(84) = 0.0000%,	MODE(85) = 0.0011%,						
MODE(86) = 0.0069%,										

Tabelle 14: Beteiligungs-faktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c01:

15. Eigenform, $f = 7.2880$ [Hz], $EAS = 337.1126$ [m/sec], $TAS = 444.4432$ [m/sec]

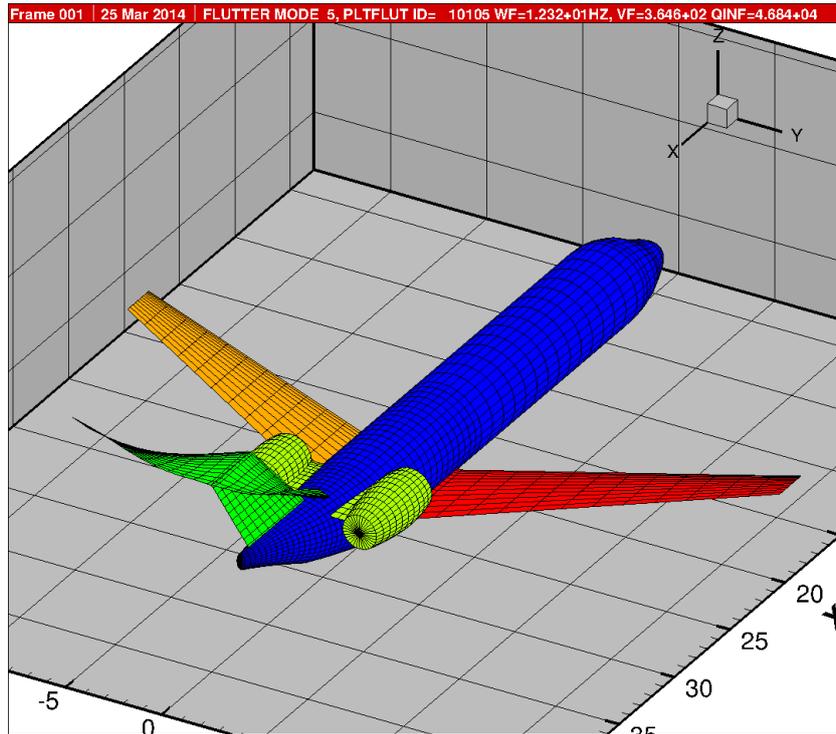


Abbildung 15: 5. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c01:

18. Eigenform, $f = 12.3209$ [Hz], $EAS = 276.5613$ [m/sec], $TAS = 364.6135$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.										
MODE(1) = 0.0030%,	MODE(2) = 0.0009%,	MODE(3) = 3.8628%,	MODE(4) = 0.0003%,	MODE(5) = 10.0226%,						
MODE(6) = 0.0072%,	MODE(7) = 0.9250%,	MODE(8) = 0.0002%,	MODE(9) = 0.0120%,	MODE(10) = 0.0130%,						
MODE(11) = 99.9440%,	MODE(12) = 0.0003%,	MODE(13) = 59.2600%,	MODE(14) = 0.0003%,	MODE(15) = 3.1979%,						
MODE(16) = 44.3290%,	MODE(17) = 0.0029%,	MODE(18) = 21.7059%,	MODE(19) = 0.0029%,	MODE(20) = 8.1418%,						
MODE(21) = 0.0116%,	MODE(22) = 0.0016%,	MODE(23) = 2.4544%,	MODE(24) = 0.0144%,	MODE(25) = 0.0008%,						
MODE(26) = 21.9014%,	MODE(27) = 0.0120%,	MODE(28) = 7.9290%,	MODE(29) = 0.0023%,	MODE(30) = 0.0096%,						
MODE(31) = 55.9677%,	MODE(32) = 100.0000%,	MODE(33) = 0.0000%,	MODE(34) = 45.9253%,	MODE(35) = 0.0112%,						
MODE(36) = 54.1631%,	MODE(37) = 0.0001%,	MODE(38) = 1.3021%,	MODE(39) = 0.0018%,	MODE(40) = 0.0681%,						
MODE(41) = 0.0007%,	MODE(42) = 0.0080%,	MODE(43) = 0.0000%,	MODE(44) = 0.0002%,	MODE(45) = 0.2890%,						
MODE(46) = 0.0001%,	MODE(47) = 1.1914%,	MODE(48) = 0.0926%,	MODE(49) = 0.0003%,	MODE(50) = 0.0001%,						
MODE(51) = 0.0010%,	MODE(52) = 0.0703%,	MODE(53) = 0.0006%,	MODE(54) = 0.7834%,	MODE(55) = 0.0068%,						
MODE(56) = 4.2754%,	MODE(57) = 0.0024%,	MODE(58) = 4.9373%,	MODE(59) = 0.0001%,	MODE(60) = 0.0100%,						
MODE(61) = 0.0003%,	MODE(62) = 0.2082%,	MODE(63) = 0.0004%,	MODE(64) = 0.0232%,	MODE(65) = 0.0000%,						
MODE(66) = 0.0001%,	MODE(67) = 0.0154%,	MODE(68) = 0.0262%,	MODE(69) = 0.0000%,	MODE(70) = 0.0013%,						
MODE(71) = 0.0000%,	MODE(72) = 0.0000%,	MODE(73) = 0.5494%,	MODE(74) = 0.0002%,	MODE(75) = 0.0001%,						
MODE(76) = 0.0008%,	MODE(77) = 0.0022%,	MODE(78) = 0.0000%,	MODE(79) = 0.0000%,	MODE(80) = 0.0000%,						
MODE(81) = 0.0114%,	MODE(82) = 0.0003%,	MODE(83) = 0.0925%,	MODE(84) = 0.0187%,	MODE(85) = 0.3182%,						
MODE(86) = 0.0273%,										

Tabelle 15: Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c01:

18. Eigenform, $f = 12.3209$ [Hz], $EAS = 276.5613$ [m/sec], $TAS = 364.6135$ [m/sec]

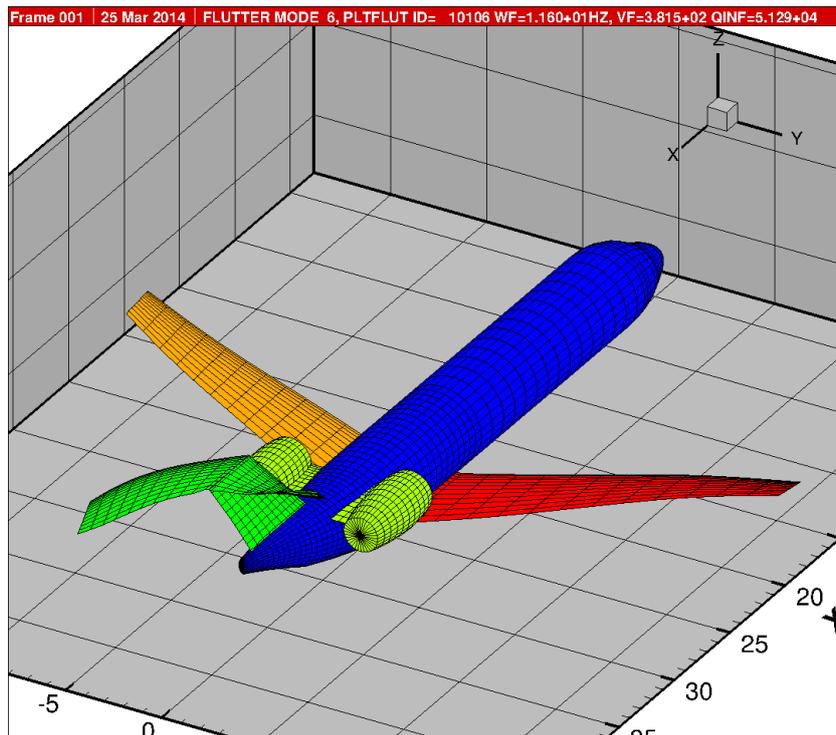


Abbildung 16: 6. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c01:

19. Eigenform, $f = 11.6098$ [Hz], $EAS = 289.3963$ [m/sec], $TAS = 381.5349$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.										
MODE(1) = 0.0000%,	MODE(2) = 0.4197%,	MODE(3) = 0.0006%,	MODE(4) = 8.1294%,	MODE(5) = 0.0018%,						
MODE(6) = 0.8519%,	MODE(7) = 0.0000%,	MODE(8) = 8.0262%,	MODE(9) = 99.9939%,	MODE(10) = 48.4156%,						
MODE(11) = 0.0894%,	MODE(12) = 0.7056%,	MODE(13) = 0.0405%,	MODE(14) = 16.0774%,	MODE(15) = 0.0003%,						
MODE(16) = 0.0069%,	MODE(17) = 9.6579%,	MODE(18) = 0.0290%,	MODE(19) = 100.0000%,	MODE(20) = 0.0505%,						
MODE(21) = 51.8014%,	MODE(22) = 20.6779%,	MODE(23) = 0.0001%,	MODE(24) = 0.0010%,	MODE(25) = 3.5396%,						
MODE(26) = 0.0041%,	MODE(27) = 99.9951%,	MODE(28) = 0.0724%,	MODE(29) = 2.1752%,	MODE(30) = 99.9948%,						
MODE(31) = 0.0122%,	MODE(32) = 0.0149%,	MODE(33) = 0.5698%,	MODE(34) = 0.0115%,	MODE(35) = 0.6808%,						
MODE(36) = 0.0184%,	MODE(37) = 0.6406%,	MODE(38) = 0.0001%,	MODE(39) = 33.2727%,	MODE(40) = 0.0003%,						
MODE(41) = 8.4733%,	MODE(42) = 0.0000%,	MODE(43) = 0.5376%,	MODE(44) = 2.6818%,	MODE(45) = 0.0007%,						
MODE(46) = 0.6587%,	MODE(47) = 0.0003%,	MODE(48) = 0.0000%,	MODE(49) = 1.0784%,	MODE(50) = 1.6535%,						
MODE(51) = 2.6671%,	MODE(52) = 0.0010%,	MODE(53) = 0.7720%,	MODE(54) = 0.0036%,	MODE(55) = 0.9965%,						
MODE(56) = 0.0067%,	MODE(57) = 9.3165%,	MODE(58) = 0.0012%,	MODE(59) = 0.0843%,	MODE(60) = 0.0000%,						
MODE(61) = 0.0606%,	MODE(62) = 0.0003%,	MODE(63) = 0.0650%,	MODE(64) = 0.0018%,	MODE(65) = 0.4473%,						
MODE(66) = 0.0069%,	MODE(67) = 0.0001%,	MODE(68) = 0.0003%,	MODE(69) = 0.0879%,	MODE(70) = 0.0000%,						
MODE(71) = 0.0258%,	MODE(72) = 0.2705%,	MODE(73) = 0.0001%,	MODE(74) = 0.0170%,	MODE(75) = 0.0000%,						
MODE(76) = 0.0000%,	MODE(77) = 0.0000%,	MODE(78) = 0.3643%,	MODE(79) = 0.1610%,	MODE(80) = 0.0011%,						
MODE(81) = 0.0000%,	MODE(82) = 0.0612%,	MODE(83) = 0.0000%,	MODE(84) = 0.1583%,	MODE(85) = 0.0113%,						
MODE(86) = 0.0000%,										

Tabelle 16: Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c01:

19. Eigenform, $f = 11.6098$ [Hz], $EAS = 289.3963$ [m/sec], $TAS = 381.5349$ [m/sec]

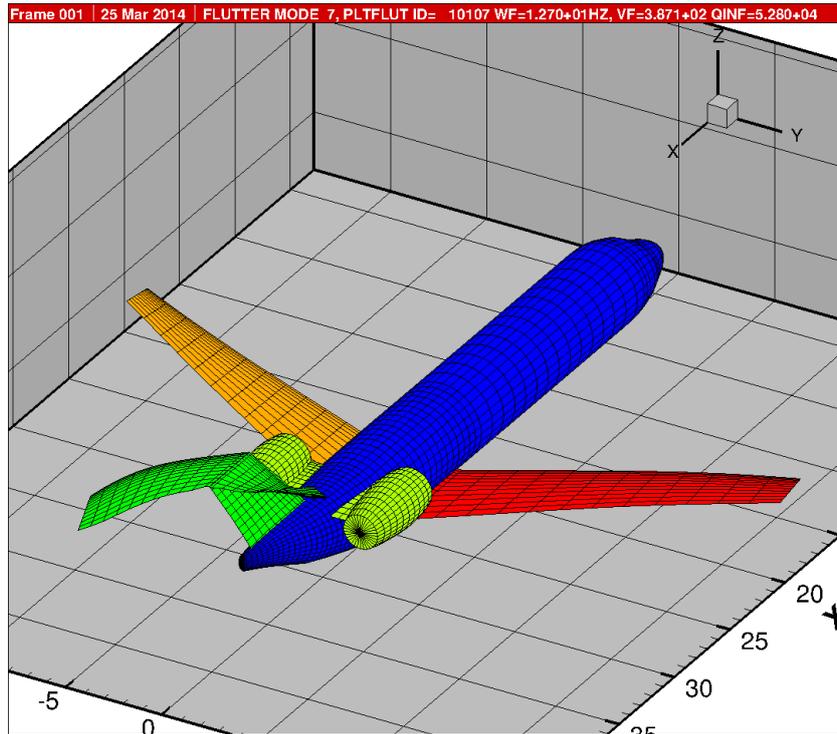


Abbildung 17: 7. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c01:

21. Eigenform, $f = 12.7075$ [Hz], $EAS = 293.6275$ [m/sec], $TAS = 387.1132$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.										
MODE(1) = 0.0000%,	MODE(2) = 0.0142%,	MODE(3) = 0.0046%,	MODE(4) = 6.1598%,	MODE(5) = 0.0144%,						
MODE(6) = 0.0829%,	MODE(7) = 0.0005%,	MODE(8) = 8.5320%,	MODE(9) = 99.9743%,	MODE(10) = 51.5803%,						
MODE(11) = 0.0924%,	MODE(12) = 1.4290%,	MODE(13) = 0.0530%,	MODE(14) = 15.6444%,	MODE(15) = 0.0021%,						
MODE(16) = 0.0292%,	MODE(17) = 12.6448%,	MODE(18) = 0.0369%,	MODE(19) = 99.9956%,	MODE(20) = 0.0666%,						
MODE(21) = 100.0000%,	MODE(22) = 60.0227%,	MODE(23) = 0.0011%,	MODE(24) = 0.0076%,	MODE(25) = 38.6793%,						
MODE(26) = 0.0245%,	MODE(27) = 99.9654%,	MODE(28) = 0.2208%,	MODE(29) = 8.2741%,	MODE(30) = 99.9758%,						
MODE(31) = 0.1072%,	MODE(32) = 0.0720%,	MODE(33) = 1.5887%,	MODE(34) = 0.4598%,	MODE(35) = 0.7394%,						
MODE(36) = 0.1777%,	MODE(37) = 1.4875%,	MODE(38) = 0.0008%,	MODE(39) = 64.3321%,	MODE(40) = 0.0005%,						
MODE(41) = 26.1240%,	MODE(42) = 0.0001%,	MODE(43) = 1.0258%,	MODE(44) = 7.6015%,	MODE(45) = 0.0023%,						
MODE(46) = 0.7406%,	MODE(47) = 0.0025%,	MODE(48) = 0.0004%,	MODE(49) = 1.3243%,	MODE(50) = 2.1693%,						
MODE(51) = 5.5102%,	MODE(52) = 0.0025%,	MODE(53) = 2.7624%,	MODE(54) = 0.0026%,	MODE(55) = 0.9714%,						
MODE(56) = 0.0082%,	MODE(57) = 25.8452%,	MODE(58) = 0.0087%,	MODE(59) = 0.1519%,	MODE(60) = 0.0000%,						
MODE(61) = 0.2906%,	MODE(62) = 0.0006%,	MODE(63) = 0.0630%,	MODE(64) = 0.0025%,	MODE(65) = 0.7340%,						
MODE(66) = 0.0012%,	MODE(67) = 0.0001%,	MODE(68) = 0.0003%,	MODE(69) = 0.2836%,	MODE(70) = 0.0000%,						
MODE(71) = 0.0558%,	MODE(72) = 0.6186%,	MODE(73) = 0.0008%,	MODE(74) = 0.0676%,	MODE(75) = 0.0000%,						
MODE(76) = 0.0000%,	MODE(77) = 0.0000%,	MODE(78) = 0.9122%,	MODE(79) = 0.2161%,	MODE(80) = 0.0696%,						
MODE(81) = 0.0000%,	MODE(82) = 0.4024%,	MODE(83) = 0.0001%,	MODE(84) = 0.2700%,	MODE(85) = 0.0200%,						
MODE(86) = 0.0001%,										

Tabelle 17: Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c01:

21. Eigenform, $f = 12.7075$ [Hz], $EAS = 293.6275$ [m/sec], $TAS = 387.1132$ [m/sec]

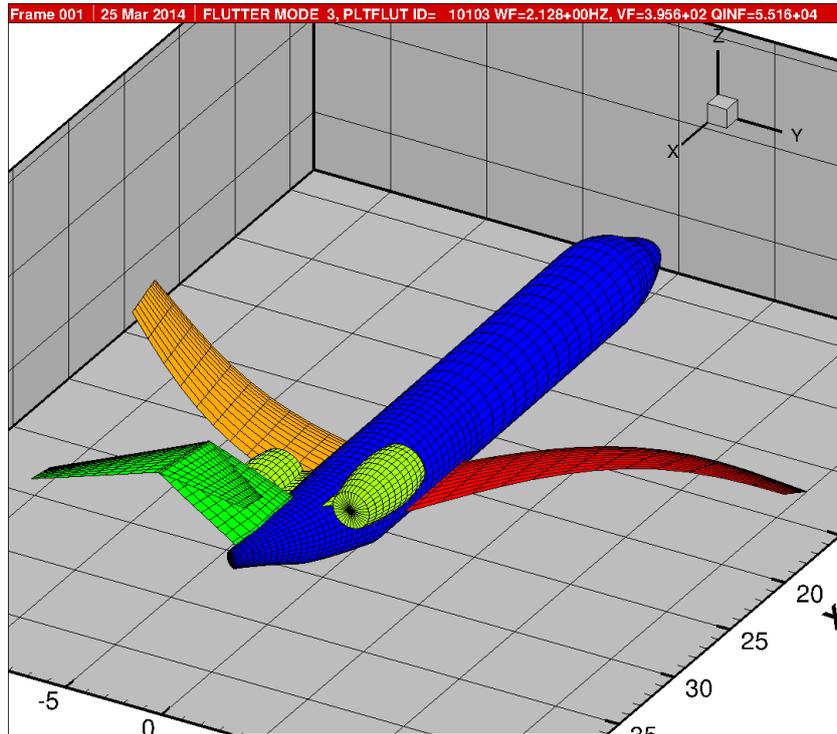


Abbildung 18: 3. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

8. Eigenform, $f = 2.1282$ [Hz], $EAS = 300.1188$ [m/sec], $TAS = 395.6713$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.																																																																																					
MODE(1) = 0.0000%,	MODE(2) = 0.1676%,	MODE(3) = 0.0000%,	MODE(4) = 34.9224%,	MODE(5) = 0.0004%,	MODE(6) = 0.0696%,	MODE(7) = 0.0002%,	MODE(8) = 22.3297%,	MODE(9) = 33.9049%,	MODE(10) = 0.1414%,	MODE(11) = 64.0596%,	MODE(12) = 0.0591%,	MODE(13) = 0.0000%,	MODE(14) = 0.0035%,	MODE(15) = 11.1585%,	MODE(16) = 0.6581%,	MODE(17) = 0.0028%,	MODE(18) = 0.0001%,	MODE(19) = 6.9287%,	MODE(20) = 0.1974%,	MODE(21) = 0.0389%,	MODE(22) = 0.8561%,	MODE(23) = 0.1720%,	MODE(24) = 0.1427%,	MODE(25) = 3.0101%,	MODE(26) = 0.5396%,	MODE(27) = 0.0009%,	MODE(28) = 0.0514%,	MODE(29) = 100.0000%,	MODE(30) = 0.0012%,	MODE(31) = 0.1054%,	MODE(32) = 1.0481%,	MODE(33) = 0.0000%,	MODE(34) = 0.0065%,	MODE(35) = 0.1717%,	MODE(36) = 0.0749%,	MODE(37) = 0.1844%,	MODE(38) = 0.0169%,	MODE(39) = 0.2742%,	MODE(40) = 0.3312%,	MODE(41) = 0.0018%,	MODE(42) = 0.0019%,	MODE(43) = 0.5329%,	MODE(44) = 0.0059%,	MODE(45) = 0.0510%,	MODE(46) = 0.0020%,	MODE(47) = 0.0545%,	MODE(48) = 0.1522%,	MODE(49) = 8.3754%,	MODE(50) = 0.0710%,	MODE(51) = 0.1368%,	MODE(52) = 0.0022%,	MODE(53) = 0.0491%,	MODE(54) = 0.0001%,	MODE(55) = 0.0456%,	MODE(56) = 0.0168%,	MODE(57) = 0.0346%,	MODE(58) = 0.0005%,	MODE(59) = 0.0748%,	MODE(60) = 0.0006%,	MODE(61) = 0.0017%,	MODE(62) = 0.0018%,	MODE(63) = 0.0040%,	MODE(64) = 2.3266%,	MODE(65) = 0.0625%,	MODE(66) = 0.0001%,	MODE(67) = 0.1048%,	MODE(68) = 0.1037%,	MODE(69) = 0.0001%,	MODE(70) = 0.0142%,	MODE(71) = 0.0039%,	MODE(72) = 0.0067%,	MODE(73) = 0.0070%,	MODE(74) = 0.0057%,	MODE(75) = 0.0826%,	MODE(76) = 0.0351%,	MODE(77) = 0.0080%,	MODE(78) = 0.0108%,	MODE(79) = 0.0005%,	MODE(80) = 0.4628%,	MODE(81) = 0.0023%,	MODE(82) = 0.0215%,	MODE(83) = 0.0009%,	MODE(84) = 0.0060%,	MODE(85) = 0.0062%,	MODE(86) = 0.0093%,

Tabelle 18: Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

8. Eigenform, $f = 2.1282$ [Hz], $EAS = 300.1188$ [m/sec], $TAS = 395.6713$ [m/sec]

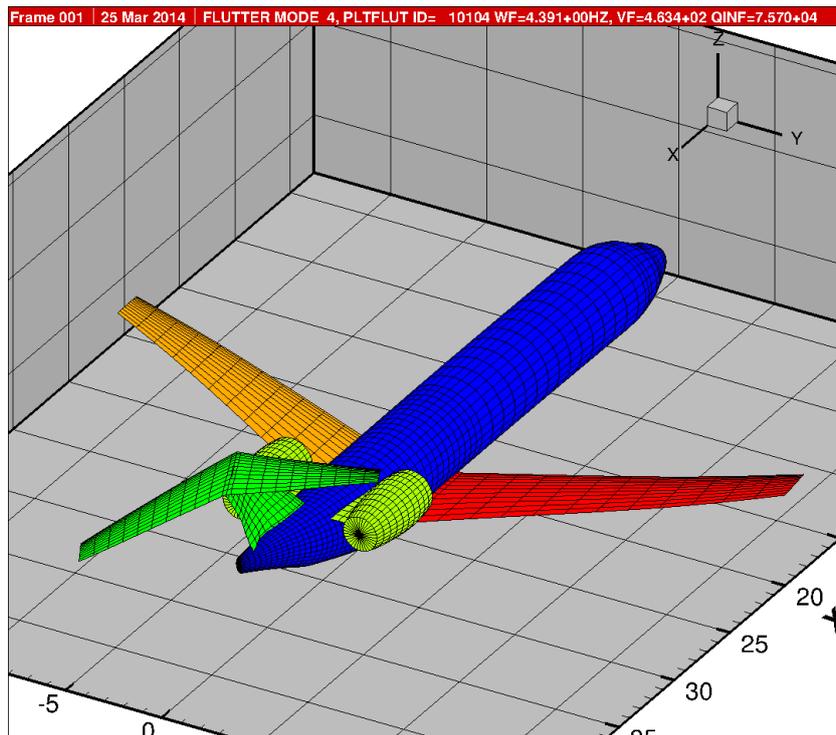


Abbildung 19: 4. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

9. Eigenform, $f = 4.3915$ [Hz], $EAS = 351.5576$ [m/sec], $TAS = 463.4872$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.										
MODE(1) = 0.0000%,	MODE(2) = 3.5631%,	MODE(3) = 0.0006%,	MODE(4) = 21.7553%,	MODE(5) = 0.0057%,						
MODE(6) = 9.7998%,	MODE(7) = 0.0064%,	MODE(8) = 100.0000%,	MODE(9) = 99.9901%,	MODE(10) = 54.9648%,						
MODE(11) = 99.6238%,	MODE(12) = 0.0291%,	MODE(13) = 0.0002%,	MODE(14) = 0.0156%,	MODE(15) = 23.1991%,						
MODE(16) = 99.9660%,	MODE(17) = 0.1356%,	MODE(18) = 0.0039%,	MODE(19) = 59.7573%,	MODE(20) = 1.3885%,						
MODE(21) = 1.9898%,	MODE(22) = 19.6228%,	MODE(23) = 21.9658%,	MODE(24) = 18.8918%,	MODE(25) = 1.9801%,						
MODE(26) = 2.2271%,	MODE(27) = 0.0010%,	MODE(28) = 0.0131%,	MODE(29) = 41.9248%,	MODE(30) = 0.0149%,						
MODE(31) = 1.1627%,	MODE(32) = 2.5466%,	MODE(33) = 0.0004%,	MODE(34) = 0.0082%,	MODE(35) = 0.6850%,						
MODE(36) = 0.1416%,	MODE(37) = 0.6031%,	MODE(38) = 0.1829%,	MODE(39) = 3.0245%,	MODE(40) = 18.7402%,						
MODE(41) = 0.0711%,	MODE(42) = 0.0147%,	MODE(43) = 0.8231%,	MODE(44) = 0.0270%,	MODE(45) = 0.5327%,						
MODE(46) = 0.0219%,	MODE(47) = 0.5119%,	MODE(48) = 1.1945%,	MODE(49) = 11.1918%,	MODE(50) = 0.4057%,						
MODE(51) = 0.9215%,	MODE(52) = 0.0093%,	MODE(53) = 1.3507%,	MODE(54) = 0.0054%,	MODE(55) = 1.8689%,						
MODE(56) = 0.5112%,	MODE(57) = 0.5635%,	MODE(58) = 0.0032%,	MODE(59) = 0.0627%,	MODE(60) = 0.0448%,						
MODE(61) = 0.1904%,	MODE(62) = 0.0752%,	MODE(63) = 0.0437%,	MODE(64) = 1.6708%,	MODE(65) = 0.0749%,						
MODE(66) = 0.0103%,	MODE(67) = 8.3677%,	MODE(68) = 0.3620%,	MODE(69) = 0.0010%,	MODE(70) = 0.0747%,						
MODE(71) = 0.0029%,	MODE(72) = 4.0172%,	MODE(73) = 0.2715%,	MODE(74) = 0.3043%,	MODE(75) = 0.4332%,						
MODE(76) = 0.2685%,	MODE(77) = 3.7594%,	MODE(78) = 5.6482%,	MODE(79) = 0.2662%,	MODE(80) = 0.6735%,						
MODE(81) = 0.0118%,	MODE(82) = 1.1595%,	MODE(83) = 0.0176%,	MODE(84) = 0.3477%,	MODE(85) = 0.4688%,						
MODE(86) = 0.1514%,										

Tabelle 19: Beteiligungs-faktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

9. Eigenform, $f = 4.3915$ [Hz], $EAS = 351.5576$ [m/sec], $TAS = 463.4872$ [m/sec]

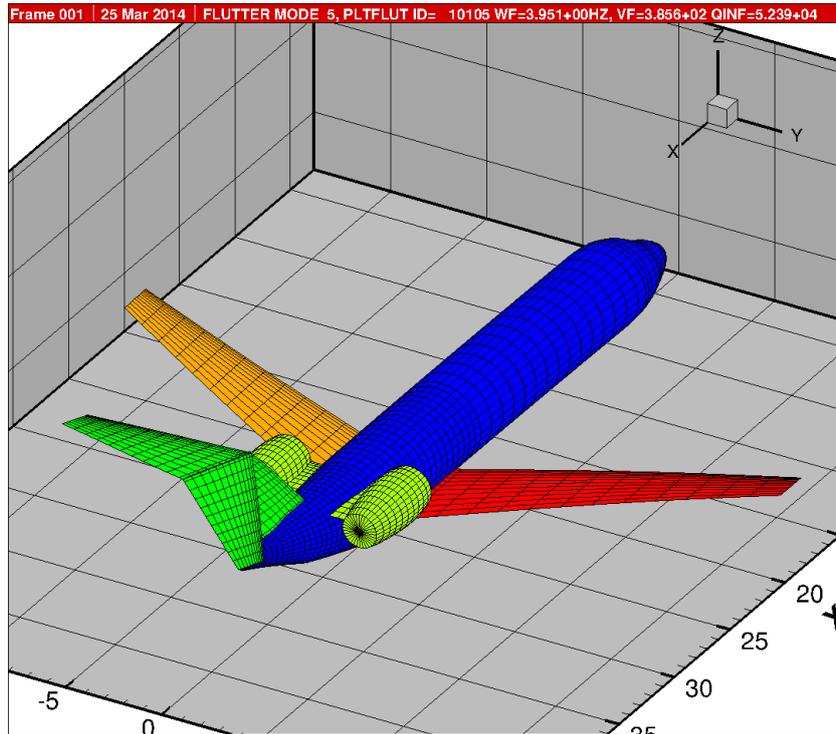


Abbildung 20: 5. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

10. Eigenform, $f = 3.9517$ [Hz], $EAS = 292.4839$ [m/sec], $TAS = 385.6055$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.									
MODE(1) = 0.0000%,	MODE(2) = 1.0119%,	MODE(3) = 0.0001%,	MODE(4) = 6.9266%,	MODE(5) = 0.0017%,	MODE(6) = 2.2621%,	MODE(7) = 0.0005%,	MODE(8) = 89.6255%,	MODE(9) = 67.2086%,	MODE(10) = 14.6973%,
MODE(11) = 100.0000%,	MODE(12) = 0.1287%,	MODE(13) = 0.0000%,	MODE(14) = 0.0011%,	MODE(15) = 5.1486%,	MODE(16) = 18.0775%,	MODE(17) = 0.0164%,	MODE(18) = 0.0004%,	MODE(19) = 10.5848%,	MODE(20) = 0.3001%,
MODE(21) = 0.3801%,	MODE(22) = 3.0787%,	MODE(23) = 2.5157%,	MODE(24) = 2.1646%,	MODE(25) = 0.8817%,	MODE(26) = 0.3321%,	MODE(27) = 0.0005%,	MODE(28) = 0.0081%,	MODE(29) = 12.5975%,	MODE(30) = 0.0021%,
MODE(31) = 0.2099%,	MODE(32) = 0.4383%,	MODE(33) = 0.0000%,	MODE(34) = 0.0015%,	MODE(35) = 0.1074%,	MODE(36) = 0.0255%,	MODE(37) = 0.0769%,	MODE(38) = 0.0303%,	MODE(39) = 0.4937%,	MODE(40) = 1.6958%,
MODE(41) = 0.0069%,	MODE(42) = 0.0031%,	MODE(43) = 0.2083%,	MODE(44) = 0.0049%,	MODE(45) = 0.1624%,	MODE(46) = 0.0064%,	MODE(47) = 0.2111%,	MODE(48) = 0.5573%,	MODE(49) = 2.7492%,	MODE(50) = 0.1135%,
MODE(51) = 0.2057%,	MODE(52) = 0.0023%,	MODE(53) = 0.3661%,	MODE(54) = 0.0013%,	MODE(55) = 0.4087%,	MODE(56) = 0.1091%,	MODE(57) = 0.1126%,	MODE(58) = 0.0008%,	MODE(59) = 0.0176%,	MODE(60) = 0.0073%,
MODE(61) = 0.0372%,	MODE(62) = 0.0151%,	MODE(63) = 0.0082%,	MODE(64) = 0.4820%,	MODE(65) = 0.0256%,	MODE(66) = 0.0011%,	MODE(67) = 1.4658%,	MODE(68) = 0.0764%,	MODE(69) = 0.0003%,	MODE(70) = 0.0139%,
MODE(71) = 0.0007%,	MODE(72) = 0.4182%,	MODE(73) = 0.0538%,	MODE(74) = 0.0716%,	MODE(75) = 0.1342%,	MODE(76) = 0.0390%,	MODE(77) = 0.2475%,	MODE(78) = 0.5101%,	MODE(79) = 0.0290%,	MODE(80) = 0.1414%,
MODE(81) = 0.0024%,	MODE(82) = 0.1259%,	MODE(83) = 0.0017%,	MODE(84) = 0.0468%,	MODE(85) = 0.0704%,	MODE(86) = 0.0350%,				

Tabelle 20: Beteiligungs-faktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

10. Eigenform, $f = 3.9517$ [Hz], $EAS = 292.4839$ [m/sec], $TAS = 385.6055$ [m/sec]

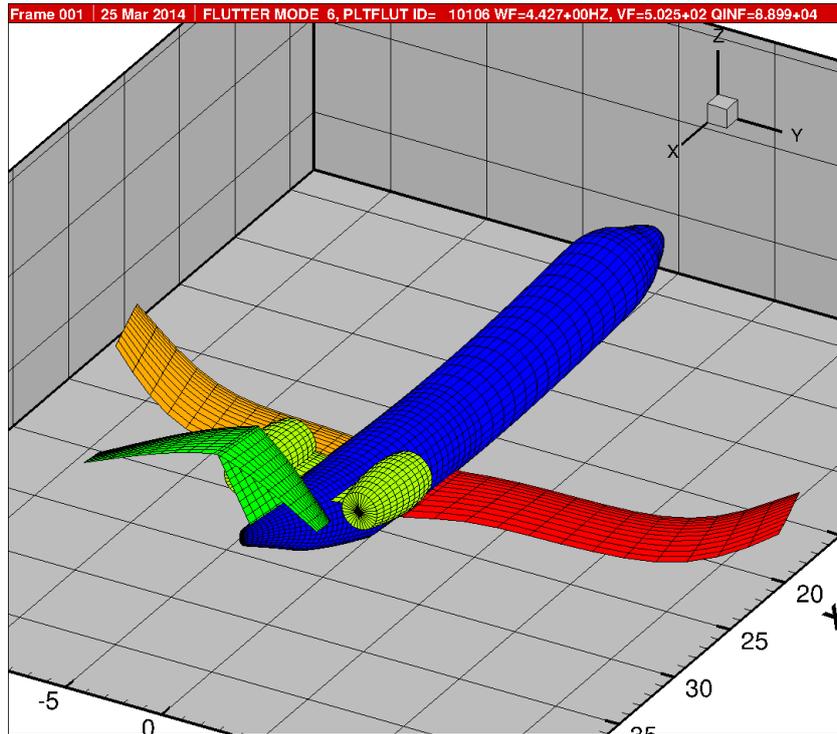


Abbildung 21: 6. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

12. Eigenform, $f = 4.4276$ [Hz], $EAS = 381.1892$ [m/sec], $TAS = 502.5529$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.										
MODE(1) = 0.0075%,	MODE(2) = 0.0019%,	MODE(3) = 7.3624%,	MODE(4) = 0.0015%,	MODE(5) = 15.3325%,						
MODE(6) = 0.0073%,	MODE(7) = 99.9989%,	MODE(8) = 0.0176%,	MODE(9) = 0.0079%,	MODE(10) = 0.0071%,						
MODE(11) = 0.3958%,	MODE(12) = 58.5292%,	MODE(13) = 5.7597%,	MODE(14) = 99.3101%,	MODE(15) = 0.0629%,						
MODE(16) = 0.0487%,	MODE(17) = 7.7084%,	MODE(18) = 100.0000%,	MODE(19) = 0.0398%,	MODE(20) = 2.3610%,						
MODE(21) = 1.0704%,	MODE(22) = 0.3460%,	MODE(23) = 1.3383%,	MODE(24) = 0.8880%,	MODE(25) = 0.0689%,						
MODE(26) = 0.0043%,	MODE(27) = 31.2529%,	MODE(28) = 99.9893%,	MODE(29) = 0.4688%,	MODE(30) = 1.7445%,						
MODE(31) = 0.0352%,	MODE(32) = 0.0024%,	MODE(33) = 5.3792%,	MODE(34) = 1.8435%,	MODE(35) = 0.0013%,						
MODE(36) = 2.3440%,	MODE(37) = 0.5554%,	MODE(38) = 0.0695%,	MODE(39) = 0.0248%,	MODE(40) = 0.0911%,						
MODE(41) = 5.5744%,	MODE(42) = 8.7920%,	MODE(43) = 0.0857%,	MODE(44) = 3.6504%,	MODE(45) = 0.0423%,						
MODE(46) = 3.8927%,	MODE(47) = 62.4098%,	MODE(48) = 47.3104%,	MODE(49) = 0.2852%,	MODE(50) = 19.3464%,						
MODE(51) = 3.0079%,	MODE(52) = 0.0887%,	MODE(53) = 0.0324%,	MODE(54) = 0.0303%,	MODE(55) = 0.3469%,						
MODE(56) = 0.9646%,	MODE(57) = 0.0129%,	MODE(58) = 0.6219%,	MODE(59) = 0.0006%,	MODE(60) = 0.1281%,						
MODE(61) = 0.0118%,	MODE(62) = 4.1993%,	MODE(63) = 0.4687%,	MODE(64) = 0.4908%,	MODE(65) = 19.4866%,						
MODE(66) = 3.7340%,	MODE(67) = 0.0024%,	MODE(68) = 0.0044%,	MODE(69) = 0.6115%,	MODE(70) = 0.0067%,						
MODE(71) = 0.3683%,	MODE(72) = 0.0012%,	MODE(73) = 0.4737%,	MODE(74) = 0.5669%,	MODE(75) = 0.0124%,						
MODE(76) = 0.1113%,	MODE(77) = 0.8015%,	MODE(78) = 0.7769%,	MODE(79) = 0.5628%,	MODE(80) = 0.0384%,						
MODE(81) = 3.6810%,	MODE(82) = 0.0319%,	MODE(83) = 0.6390%,	MODE(84) = 0.1238%,	MODE(85) = 0.0851%,						
MODE(86) = 0.1062%,										

Tabelle 21: Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

12. Eigenform, $f = 4.4276$ [Hz], $EAS = 381.1892$ [m/sec], $TAS = 502.5529$ [m/sec]

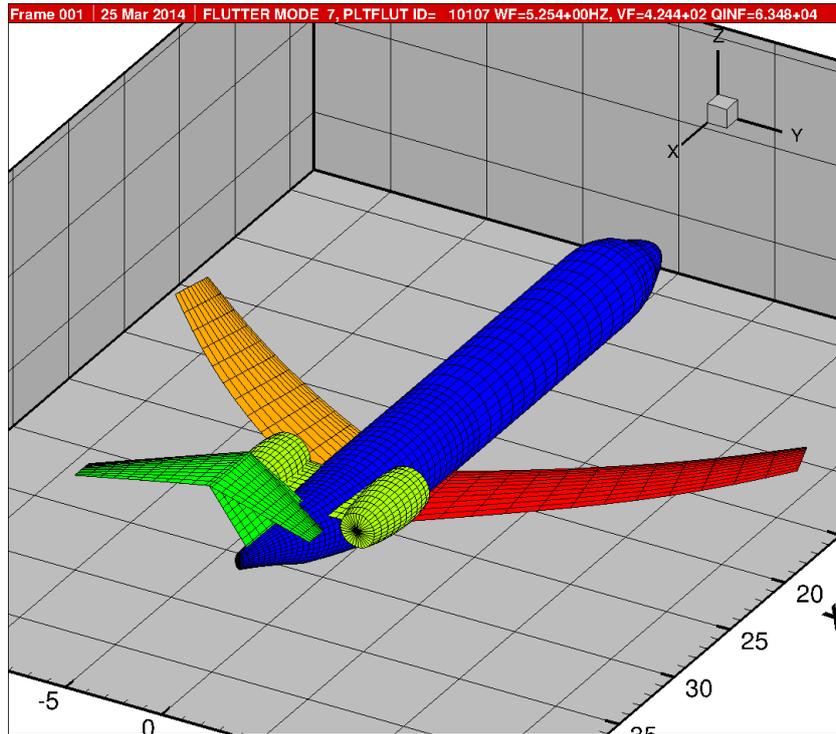


Abbildung 22: 7. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

13. Eigenform, $f = 5.2546$ [Hz], $EAS = 321.9483$ [m/sec], $TAS = 424.4508$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.										
MODE(1) = 0.0010%,	MODE(2) = 0.0005%,	MODE(3) = 5.6967%,	MODE(4) = 0.0030%,	MODE(5) = 5.3262%,						
MODE(6) = 0.0045%,	MODE(7) = 99.9734%,	MODE(8) = 0.0042%,	MODE(9) = 0.0043%,	MODE(10) = 0.0024%,						
MODE(11) = 0.0713%,	MODE(12) = 18.8884%,	MODE(13) = 99.9775%,	MODE(14) = 87.0336%,	MODE(15) = 0.0578%,						
MODE(16) = 0.0075%,	MODE(17) = 5.6492%,	MODE(18) = 99.9990%,	MODE(19) = 0.0128%,	MODE(20) = 1.5546%,						
MODE(21) = 0.6731%,	MODE(22) = 0.1517%,	MODE(23) = 0.8780%,	MODE(24) = 0.5427%,	MODE(25) = 0.0233%,						
MODE(26) = 0.0055%,	MODE(27) = 13.7980%,	MODE(28) = 100.0000%,	MODE(29) = 0.0330%,	MODE(30) = 1.1991%,						
MODE(31) = 0.0132%,	MODE(32) = 0.0008%,	MODE(33) = 2.5233%,	MODE(34) = 2.2360%,	MODE(35) = 0.0005%,						
MODE(36) = 0.9729%,	MODE(37) = 0.1771%,	MODE(38) = 0.1273%,	MODE(39) = 0.0157%,	MODE(40) = 0.0452%,						
MODE(41) = 1.8793%,	MODE(42) = 7.7831%,	MODE(43) = 0.0592%,	MODE(44) = 2.2777%,	MODE(45) = 0.0242%,						
MODE(46) = 1.1566%,	MODE(47) = 21.0236%,	MODE(48) = 16.5919%,	MODE(49) = 0.0560%,	MODE(50) = 6.8208%,						
MODE(51) = 1.0767%,	MODE(52) = 0.0332%,	MODE(53) = 0.0150%,	MODE(54) = 0.0378%,	MODE(55) = 0.1407%,						
MODE(56) = 0.4040%,	MODE(57) = 0.0045%,	MODE(58) = 0.2475%,	MODE(59) = 0.0000%,	MODE(60) = 0.0501%,						
MODE(61) = 0.0073%,	MODE(62) = 1.8238%,	MODE(63) = 0.1987%,	MODE(64) = 0.2390%,	MODE(65) = 8.1950%,						
MODE(66) = 1.9179%,	MODE(67) = 0.0012%,	MODE(68) = 0.0014%,	MODE(69) = 0.3405%,	MODE(70) = 0.0348%,						
MODE(71) = 0.2557%,	MODE(72) = 0.0001%,	MODE(73) = 0.0493%,	MODE(74) = 0.0579%,	MODE(75) = 0.0063%,						
MODE(76) = 0.0265%,	MODE(77) = 0.1785%,	MODE(78) = 0.2128%,	MODE(79) = 0.4731%,	MODE(80) = 0.0199%,						
MODE(81) = 1.4664%,	MODE(82) = 0.0350%,	MODE(83) = 0.1022%,	MODE(84) = 0.1115%,	MODE(85) = 0.0407%,						
MODE(86) = 0.1192%,										

Tabelle 22: Beteiligungs-faktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

13. Eigenform, $f = 5.2546$ [Hz], $EAS = 321.9483$ [m/sec], $TAS = 424.4508$ [m/sec]

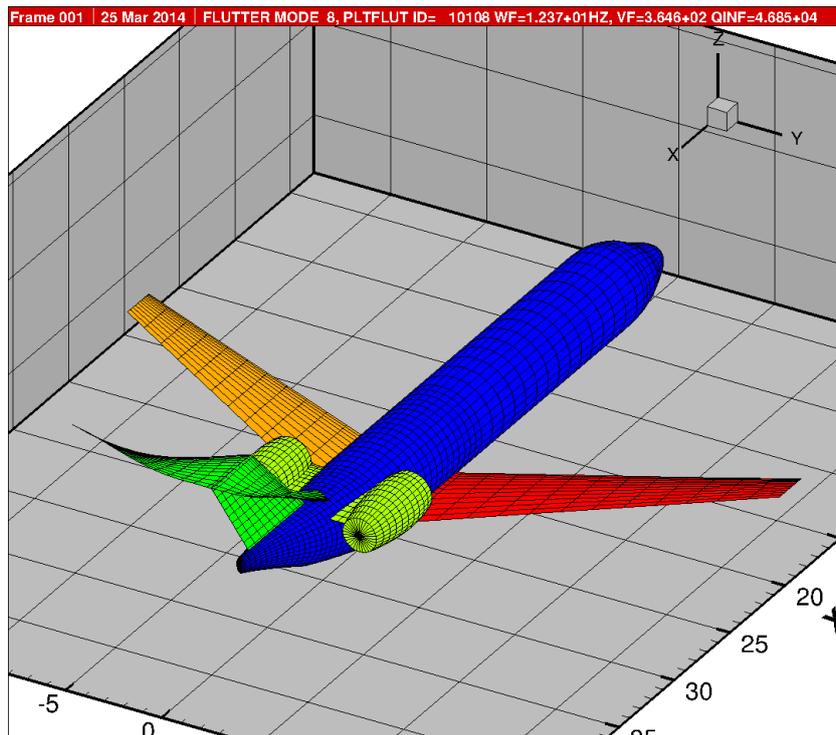


Abbildung 23: 8. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

17. Eigenform, $f = 12.3726$ [Hz], $EAS = 276.5922$ [m/sec], $TAS = 364.6541$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.											
MODE(1) = 0.0026%,	MODE(2) = 0.0006%,	MODE(3) = 2.1640%,	MODE(4) = 0.0006%,	MODE(5) = 6.8068%,							
MODE(6) = 0.0048%,	MODE(7) = 0.7596%,	MODE(8) = 0.0002%,	MODE(9) = 0.0443%,	MODE(10) = 0.0083%,							
MODE(11) = 0.0846%,	MODE(12) = 100.0000%,	MODE(13) = 1.2843%,	MODE(14) = 85.8683%,	MODE(15) = 0.0124%,							
MODE(16) = 0.0262%,	MODE(17) = 98.3499%,	MODE(18) = 0.0953%,	MODE(19) = 0.0194%,	MODE(20) = 0.1883%,							
MODE(21) = 0.0503%,	MODE(22) = 0.0444%,	MODE(23) = 5.8624%,	MODE(24) = 4.7777%,	MODE(25) = 0.0017%,							
MODE(26) = 0.0917%,	MODE(27) = 1.8596%,	MODE(28) = 0.2890%,	MODE(29) = 0.0029%,	MODE(30) = 0.6549%,							
MODE(31) = 0.0088%,	MODE(32) = 0.0436%,	MODE(33) = 0.0534%,	MODE(34) = 26.9118%,	MODE(35) = 0.0061%,							
MODE(36) = 0.3929%,	MODE(37) = 0.1556%,	MODE(38) = 1.8842%,	MODE(39) = 0.0990%,	MODE(40) = 0.1049%,							
MODE(41) = 1.1366%,	MODE(42) = 84.8446%,	MODE(43) = 1.6459%,	MODE(44) = 72.6453%,	MODE(45) = 0.4336%,							
MODE(46) = 75.7989%,	MODE(47) = 30.0258%,	MODE(48) = 1.8701%,	MODE(49) = 0.0345%,	MODE(50) = 5.0290%,							
MODE(51) = 0.5673%,	MODE(52) = 0.0152%,	MODE(53) = 0.0347%,	MODE(54) = 0.0483%,	MODE(55) = 0.3397%,							
MODE(56) = 0.7045%,	MODE(57) = 0.0076%,	MODE(58) = 0.0091%,	MODE(59) = 0.0009%,	MODE(60) = 0.0503%,							
MODE(61) = 0.0383%,	MODE(62) = 0.0413%,	MODE(63) = 0.0035%,	MODE(64) = 0.0009%,	MODE(65) = 0.0579%,							
MODE(66) = 0.0456%,	MODE(67) = 0.0009%,	MODE(68) = 0.0016%,	MODE(69) = 1.8651%,	MODE(70) = 0.2487%,							
MODE(71) = 0.3198%,	MODE(72) = 0.0010%,	MODE(73) = 0.1156%,	MODE(74) = 0.0396%,	MODE(75) = 0.0040%,							
MODE(76) = 0.0107%,	MODE(77) = 0.2986%,	MODE(78) = 0.0968%,	MODE(79) = 0.9876%,	MODE(80) = 0.0106%,							
MODE(81) = 0.0217%,	MODE(82) = 0.0636%,	MODE(83) = 6.4699%,	MODE(84) = 0.5736%,	MODE(85) = 0.0989%,							
MODE(86) = 0.2945%,											

Tabelle 23: Beteiligungs-faktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

17. Eigenform, $f = 12.3726$ [Hz], $EAS = 276.5922$ [m/sec], $TAS = 364.6541$ [m/sec]

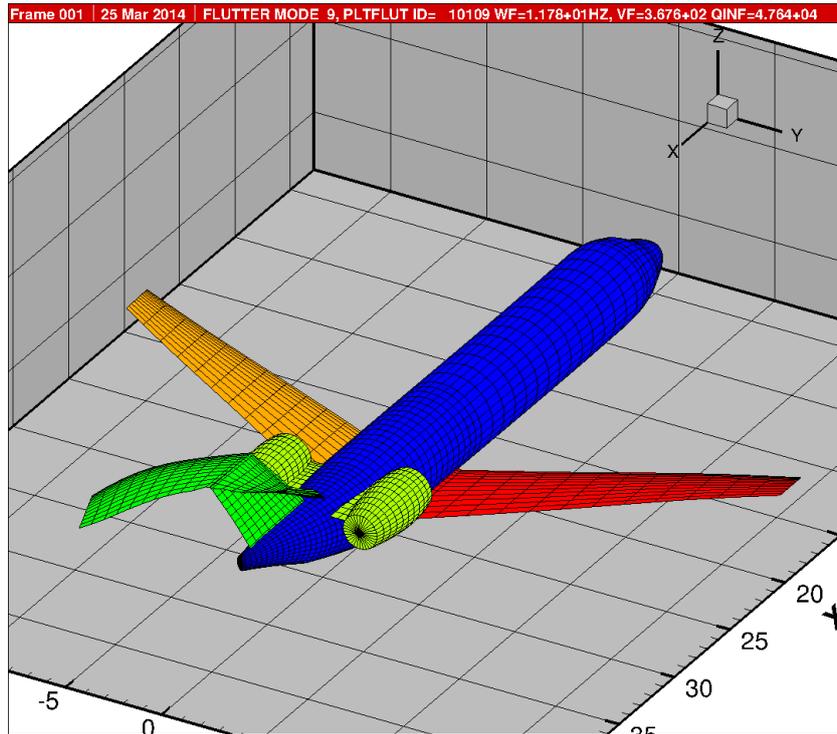


Abbildung 24: 9. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

24. Eigenform, $f = 11.7860$ [Hz], $EAS = 278.8996$ [m/sec], $TAS = 367.6962$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.									
MODE(1) = 0.0000%,	MODE(2) = 0.1632%,	MODE(3) = 0.0094%,	MODE(4) = 1.7897%,	MODE(5) = 0.0281%,					
MODE(6) = 0.3022%,	MODE(7) = 0.0048%,	MODE(8) = 1.1450%,	MODE(9) = 99.9891%,	MODE(10) = 20.4479%,					
MODE(11) = 99.9475%,	MODE(12) = 0.4501%,	MODE(13) = 0.0049%,	MODE(14) = 0.3197%,	MODE(15) = 0.4083%,					
MODE(16) = 11.0886%,	MODE(17) = 0.3043%,	MODE(18) = 0.0071%,	MODE(19) = 22.1013%,	MODE(20) = 2.9256%,					
MODE(21) = 1.0535%,	MODE(22) = 56.3848%,	MODE(23) = 73.6345%,	MODE(24) = 57.5794%,	MODE(25) = 36.1959%,					
MODE(26) = 42.8231%,	MODE(27) = 0.1509%,	MODE(28) = 0.0582%,	MODE(29) = 2.0835%,	MODE(30) = 0.2042%,					
MODE(31) = 1.7362%,	MODE(32) = 13.3537%,	MODE(33) = 0.0026%,	MODE(34) = 0.3224%,	MODE(35) = 25.2800%,					
MODE(36) = 5.7118%,	MODE(37) = 37.9539%,	MODE(38) = 15.4040%,	MODE(39) = 99.9544%,	MODE(40) = 100.0000%,					
MODE(41) = 2.1930%,	MODE(42) = 0.5346%,	MODE(43) = 1.1701%,	MODE(44) = 0.2184%,	MODE(45) = 8.3146%,					
MODE(46) = 0.3813%,	MODE(47) = 8.7470%,	MODE(48) = 12.1729%,	MODE(49) = 1.2661%,	MODE(50) = 3.5344%,					
MODE(51) = 7.6927%,	MODE(52) = 0.0720%,	MODE(53) = 5.2770%,	MODE(54) = 0.0391%,	MODE(55) = 21.7021%,					
MODE(56) = 5.9118%,	MODE(57) = 1.1850%,	MODE(58) = 0.0008%,	MODE(59) = 0.0975%,	MODE(60) = 0.0822%,					
MODE(61) = 0.1355%,	MODE(62) = 0.0363%,	MODE(63) = 0.0876%,	MODE(64) = 0.5358%,	MODE(65) = 0.0210%,					
MODE(66) = 0.0010%,	MODE(67) = 2.0184%,	MODE(68) = 0.1380%,	MODE(69) = 0.0092%,	MODE(70) = 0.1043%,					
MODE(71) = 0.0018%,	MODE(72) = 2.0064%,	MODE(73) = 0.2220%,	MODE(74) = 0.1554%,	MODE(75) = 0.0242%,					
MODE(76) = 0.1982%,	MODE(77) = 3.3250%,	MODE(78) = 3.9750%,	MODE(79) = 0.1709%,	MODE(80) = 0.0458%,					
MODE(81) = 0.0019%,	MODE(82) = 0.7770%,	MODE(83) = 0.0554%,	MODE(84) = 0.1129%,	MODE(85) = 0.1631%,					
MODE(86) = 0.0171%,									

Tabelle 24: Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

24. Eigenform, $f = 11.7860$ [Hz], $EAS = 278.8996$ [m/sec], $TAS = 367.6962$ [m/sec]

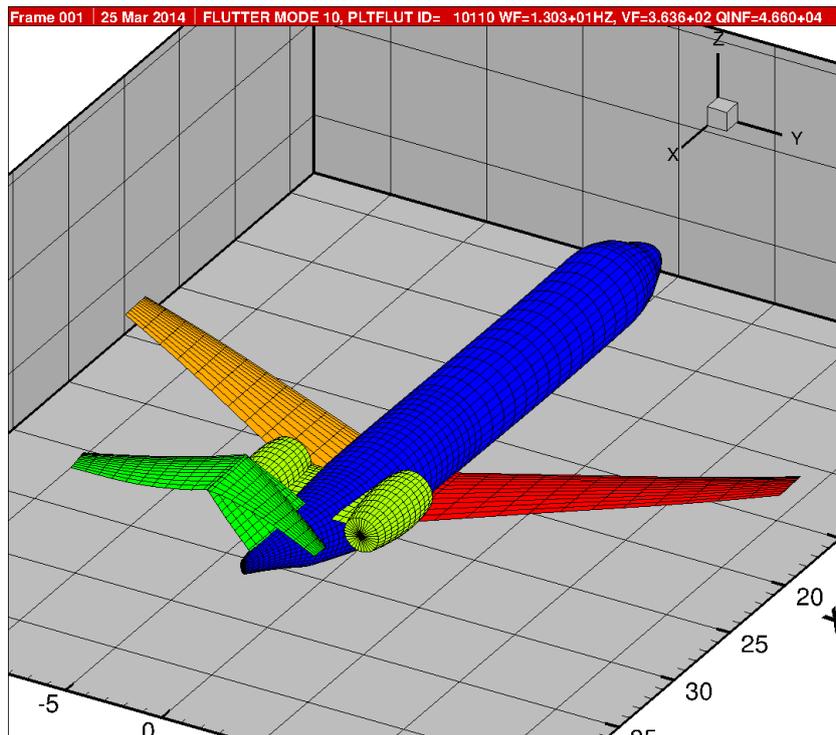


Abbildung 25: 10. Flutterfall, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

26. Eigenform, $f = 13.0382$ [Hz], $EAS = 275.8559$ [m/sec], $TAS = 363.6835$ [m/sec]

FLUTTER MODE TRACKING: 100% = PRIMARY MODE. 0% = NO CONTRIBUTION TO FLUTTER MODE.										
MODE(1) = 0.0000%,	MODE(2) = 0.0397%,	MODE(3) = 0.0402%,	MODE(4) = 0.7336%,	MODE(5) = 0.0961%,						
MODE(6) = 0.1384%,	MODE(7) = 0.0150%,	MODE(8) = 1.3262%,	MODE(9) = 99.6447%,	MODE(10) = 19.1129%,						
MODE(11) = 100.0000%,	MODE(12) = 0.6987%,	MODE(13) = 0.0269%,	MODE(14) = 0.5332%,	MODE(15) = 0.4093%,						
MODE(16) = 8.3321%,	MODE(17) = 0.6628%,	MODE(18) = 0.0312%,	MODE(19) = 12.2989%,	MODE(20) = 1.8617%,						
MODE(21) = 0.5324%,	MODE(22) = 32.1024%,	MODE(23) = 33.8652%,	MODE(24) = 23.6485%,	MODE(25) = 43.7180%,						
MODE(26) = 98.7245%,	MODE(27) = 0.5769%,	MODE(28) = 0.1560%,	MODE(29) = 0.3000%,	MODE(30) = 0.6643%,						
MODE(31) = 0.6988%,	MODE(32) = 16.4952%,	MODE(33) = 0.0139%,	MODE(34) = 0.7174%,	MODE(35) = 32.8024%,						
MODE(36) = 7.0509%,	MODE(37) = 47.5991%,	MODE(38) = 22.9326%,	MODE(39) = 98.2916%,	MODE(40) = 98.5592%,						
MODE(41) = 2.2508%,	MODE(42) = 1.3882%,	MODE(43) = 1.3227%,	MODE(44) = 0.9755%,	MODE(45) = 9.6725%,						
MODE(46) = 0.1075%,	MODE(47) = 4.0575%,	MODE(48) = 13.3578%,	MODE(49) = 0.5385%,	MODE(50) = 3.2744%,						
MODE(51) = 7.3895%,	MODE(52) = 0.0275%,	MODE(53) = 4.7867%,	MODE(54) = 0.0141%,	MODE(55) = 16.0018%,						
MODE(56) = 4.8884%,	MODE(57) = 0.9388%,	MODE(58) = 0.0029%,	MODE(59) = 0.0441%,	MODE(60) = 0.0666%,						
MODE(61) = 0.1020%,	MODE(62) = 0.0864%,	MODE(63) = 0.0865%,	MODE(64) = 0.5128%,	MODE(65) = 0.0705%,						
MODE(66) = 0.0102%,	MODE(67) = 2.3040%,	MODE(68) = 0.1202%,	MODE(69) = 0.0333%,	MODE(70) = 0.1027%,						
MODE(71) = 0.0078%,	MODE(72) = 2.8166%,	MODE(73) = 0.2218%,	MODE(74) = 0.2348%,	MODE(75) = 0.0564%,						
MODE(76) = 1.5369%,	MODE(77) = 8.9670%,	MODE(78) = 10.2800%,	MODE(79) = 0.3592%,	MODE(80) = 0.0229%,						
MODE(81) = 0.0120%,	MODE(82) = 0.7982%,	MODE(83) = 0.1690%,	MODE(84) = 0.0854%,	MODE(85) = 0.1368%,						
MODE(86) = 0.0127%,										

Tabelle 25: Beteiligungsfaktoren, ALLEGRA-S, Konfiguration c09:

26. Eigenform, $f = 13.0382$ [Hz], $EAS = 275.8559$ [m/sec], $TAS = 363.6835$ [m/sec]

5 Die Vakuum-Eigenformen

In diesem Kapitel sind stellvertretend für die Gesamtheit der Beladungskonfigurationen des ALLEGRA-S Flugzeuges nachfolgend die Vakuumeigenformen der leichten Gewichtskonfiguration C01 (43, 71 [t]) dargestellt. Es werden alle 86 für die Flutteranalyse verwendeten Eigenformen abgebildet.

Die ersten sechs Eigenformen sind die Formen der Starrkörperbewegungen mit den Eigenfrequenzen von 0 [Hz]. Darüberhinaus schliessen sich die höherfrequenten elastischen Formen (hier bis ~ 80 [Hz]) an. Während die Starrkörperformen, ähnlich dem Vorgehen bei der flugmechanischen Stabilitätsbetrachtung, die Bewegung des Gesamtflugzeuges erfassen, kommt in den elastischen Eigenformen das örtliche Schwingungsverhalten der einzelnen Flugzeugkomponenten, wie z.B. die Leitwerksverformungen oder die Biegung der Rumpfröhre, deutlich zum Ausdruck.

Die bildliche Darstellung der Eigenformen dient u.a. der Überprüfung der Qualität der Interpolation des FEM-Strukturgitters auf das DLM-Netz, die sich z.B. durch Randstetigkeiten und eine hinreichende Modellauflösung auszeichnet. Neben einer zeitlichen Animation der komplexen Flutterformen können sie desweiteren — als Bezugsformen der Beteiligungsfaktoren (siehe Tab. 11 – Tab. 17 für die Gewichtskonfiguration c01) — zur Interpretation der einzelnen Flutterformen herangezogen werden. Schließlich stellen die Vakuum-Eigenformen (näherungsweise) die Verformungsfiguren des aeroelastischen Gesamtsystems bei Fluggeschwindigkeit $v_\infty = 0$ dar und können in den Flutterkurven (hier Abb. 4 und 8) zur Interpretation der Frequenzdiagramme genutzt werden (Zuordnung in aufsteigender Frequenzordnung).

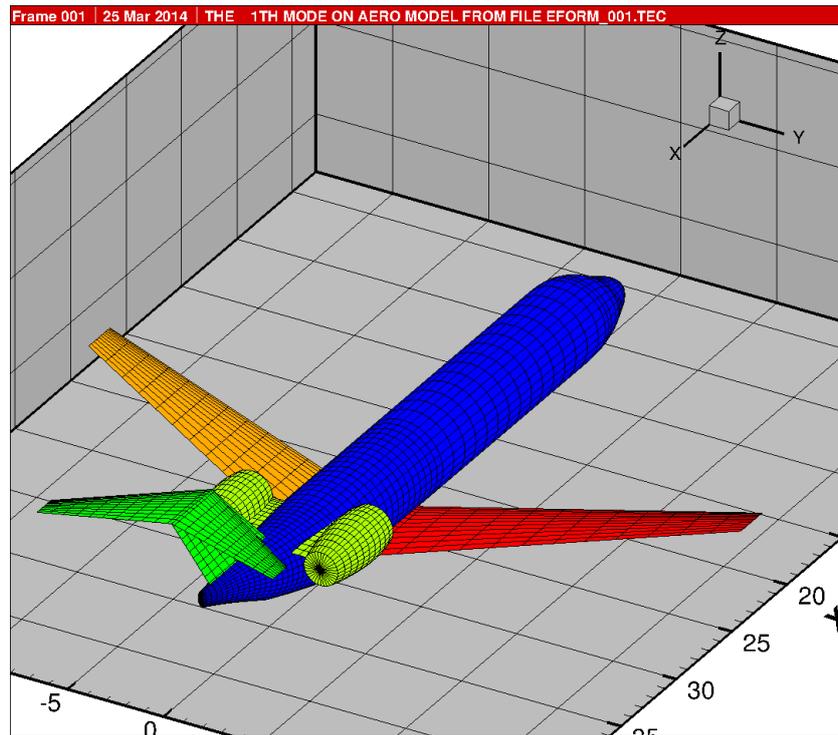


Abbildung 26: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 1. Eigenform, $f = 1.095675E-02$ [Hz]

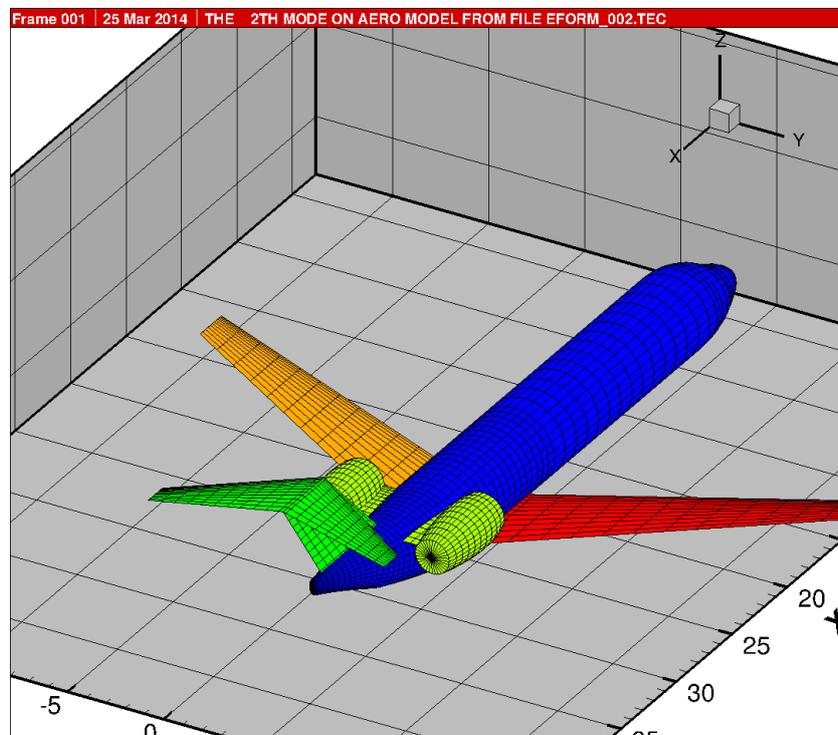


Abbildung 27: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 2. Eigenform, $f = 7.775512E-03$ [Hz]

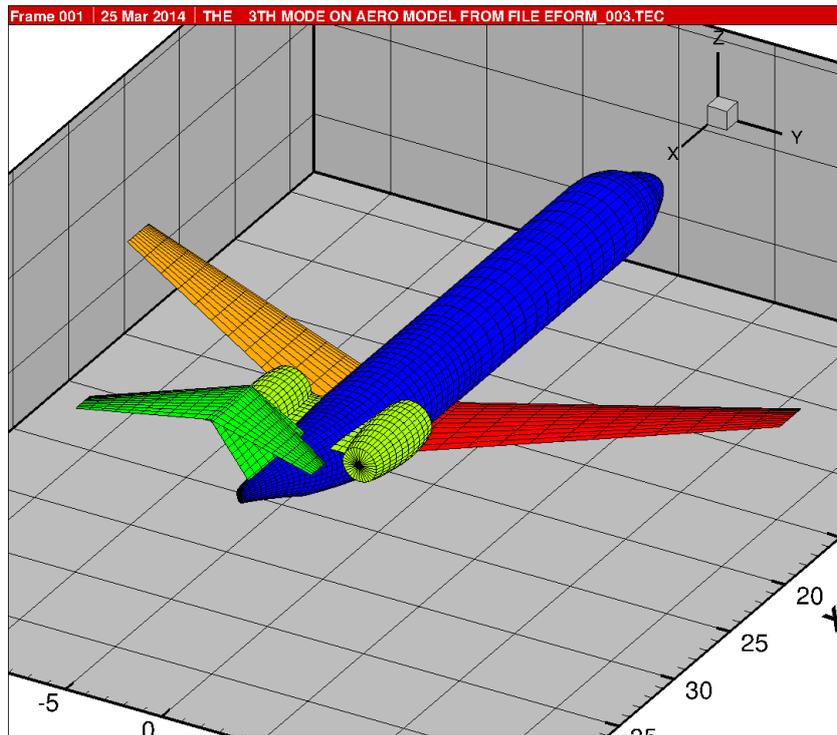


Abbildung 28: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 3. Eigenform, $f = 1.514246E-03$ [Hz]

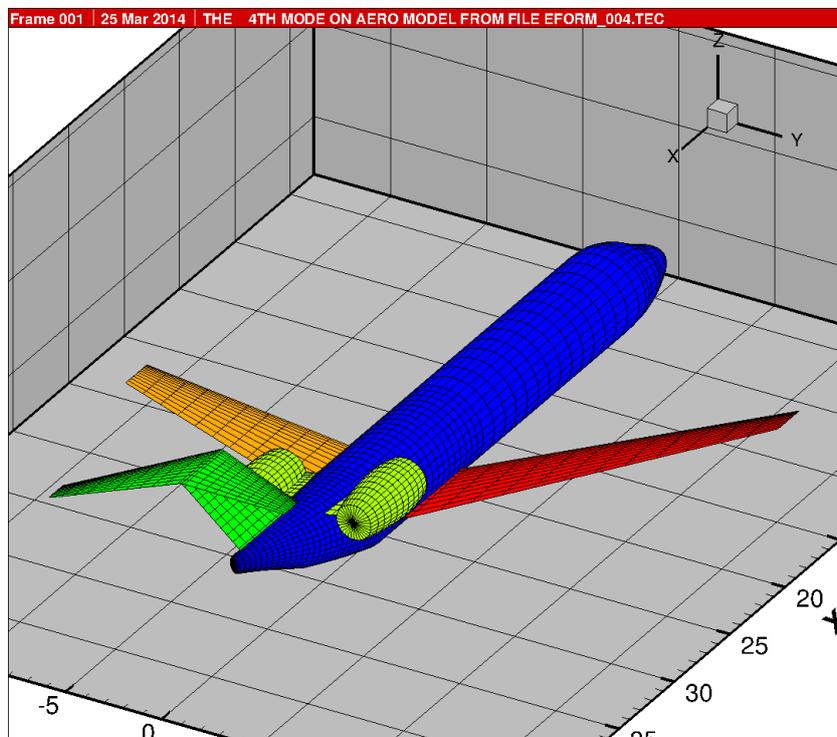


Abbildung 29: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 4. Eigenform, $f = 9.794927E-04$ [Hz]

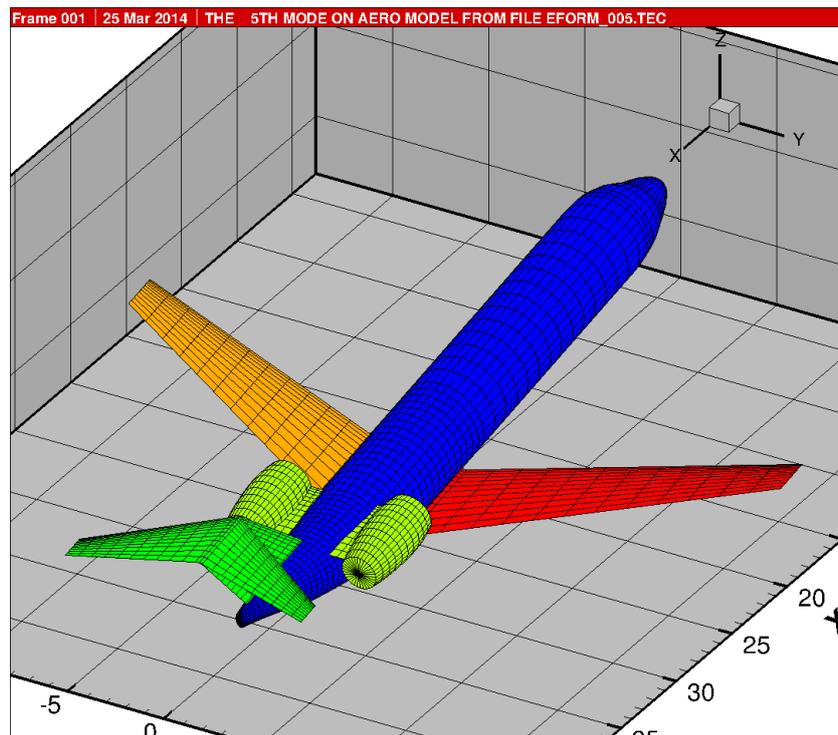


Abbildung 30: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 5. Eigenform, $f = 8.712155E-03$ [Hz]

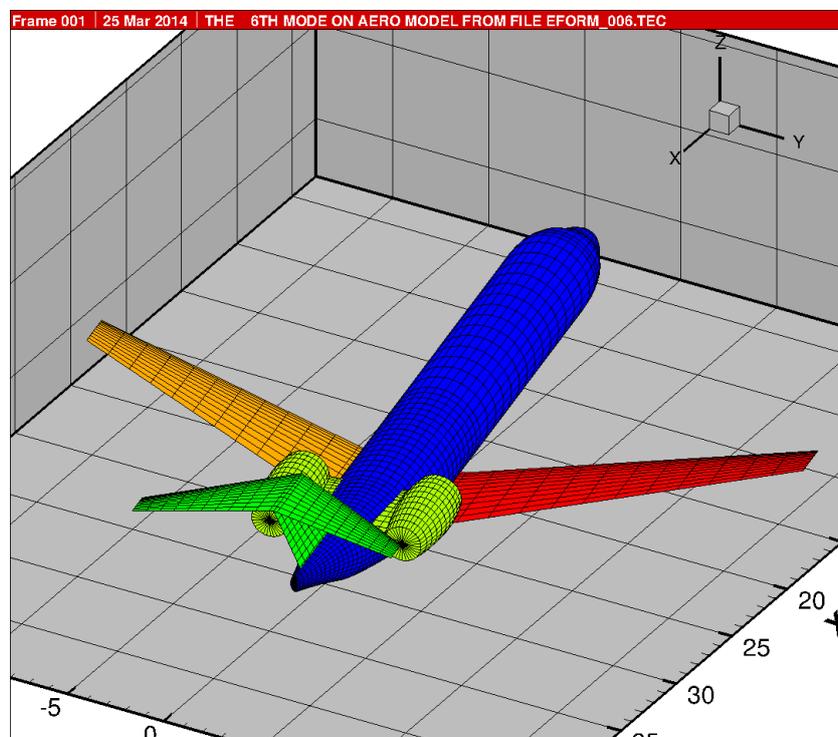


Abbildung 31: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 6. Eigenform, $f = 1.004192E-02$ [Hz]

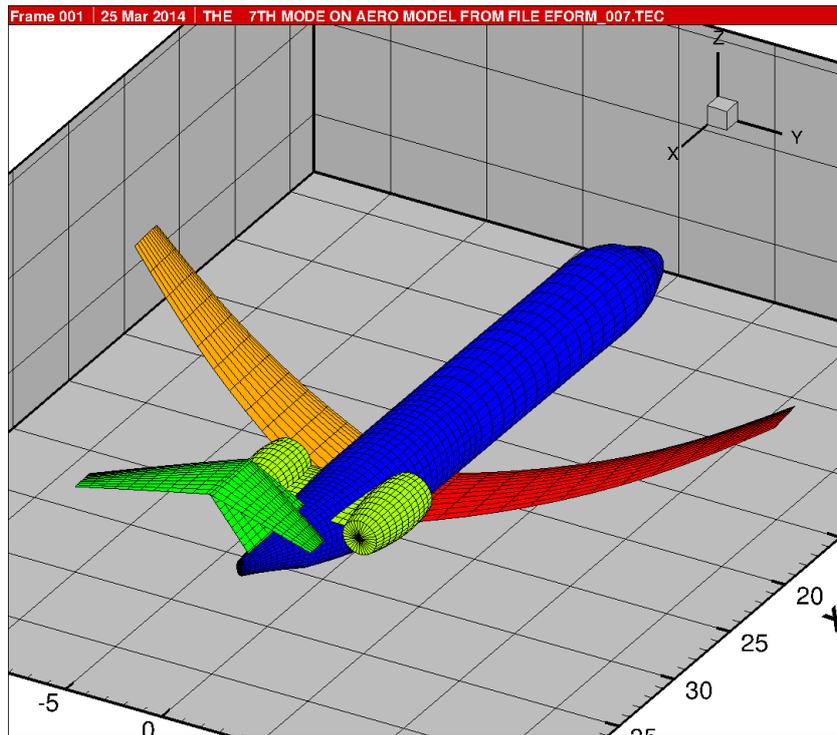


Abbildung 32: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 7. Eigenform, $f = 3.320090E+00$ [Hz]

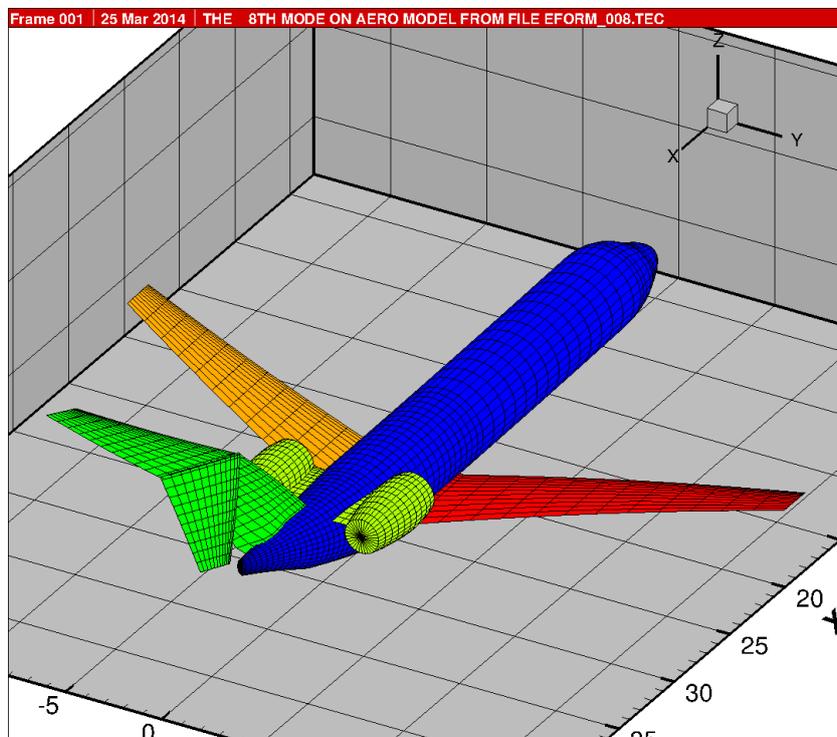


Abbildung 33: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 8. Eigenform, $f = 3.384457E+00$ [Hz]

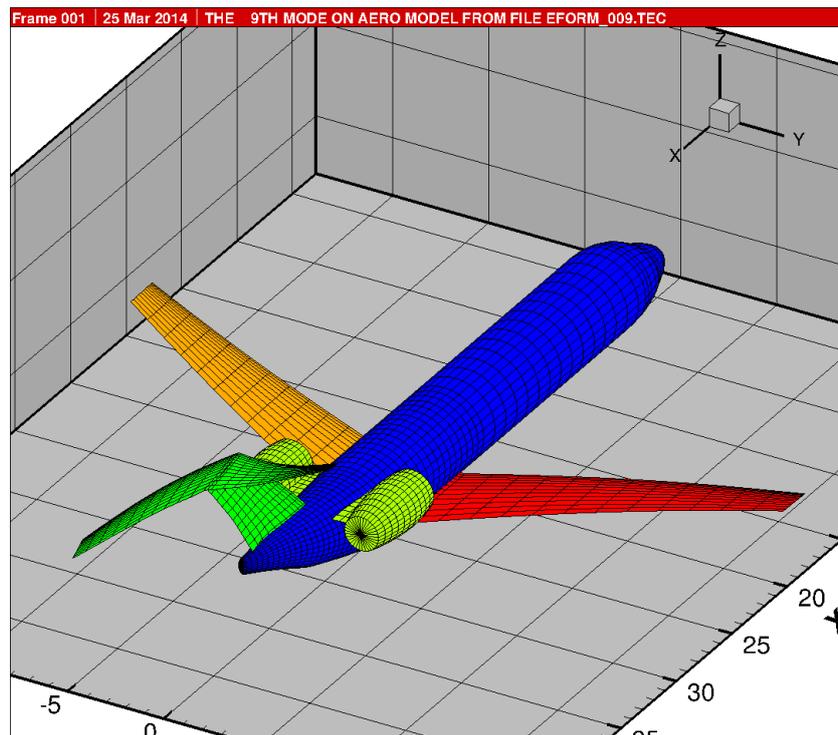


Abbildung 34: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 9. Eigenform, $f = 3.988248E+00$ [Hz]

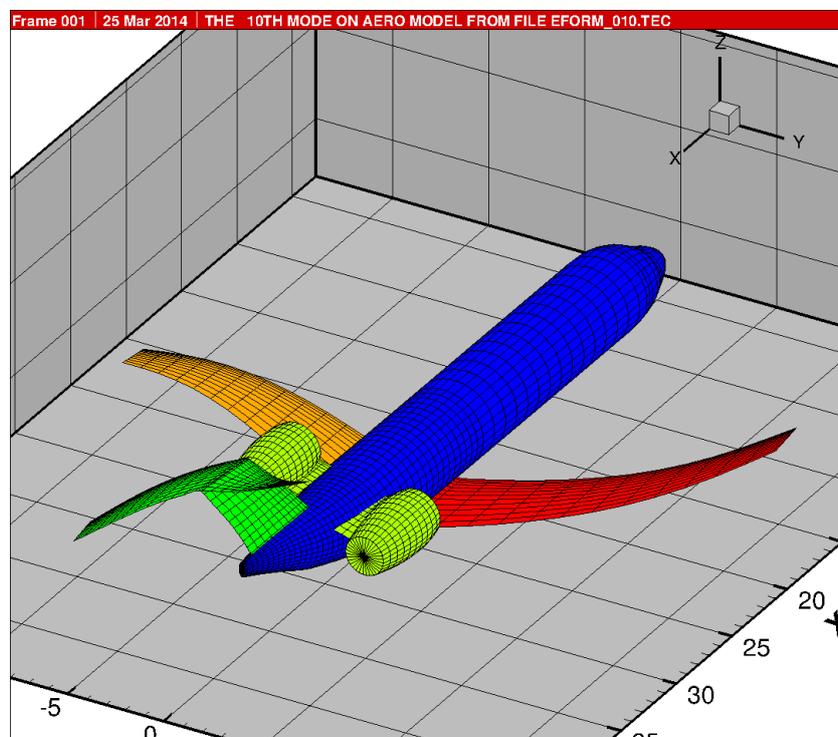


Abbildung 35: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 10. Eigenform, $f = 4.736084E+00$ [Hz]

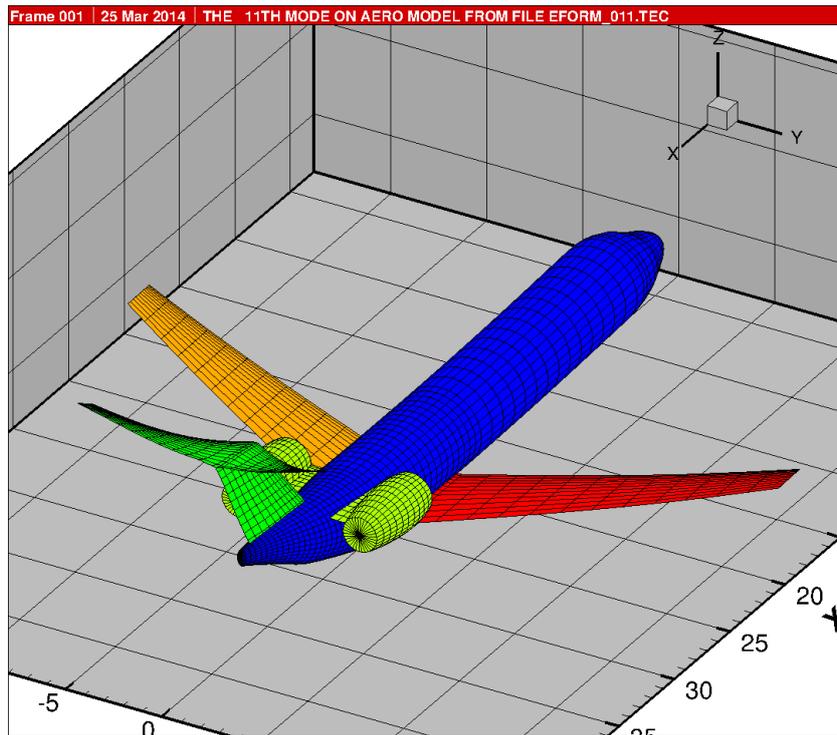


Abbildung 36: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 11. Eigenform, $f = 4.907886E+00$ [Hz]

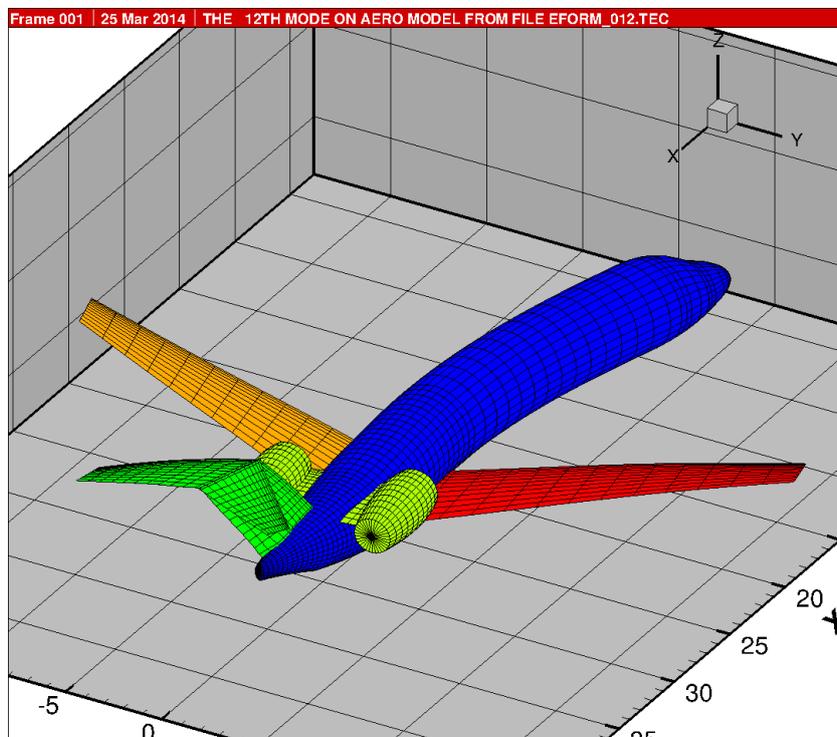


Abbildung 37: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 12. Eigenform, $f = 5.312663E+00$ [Hz]

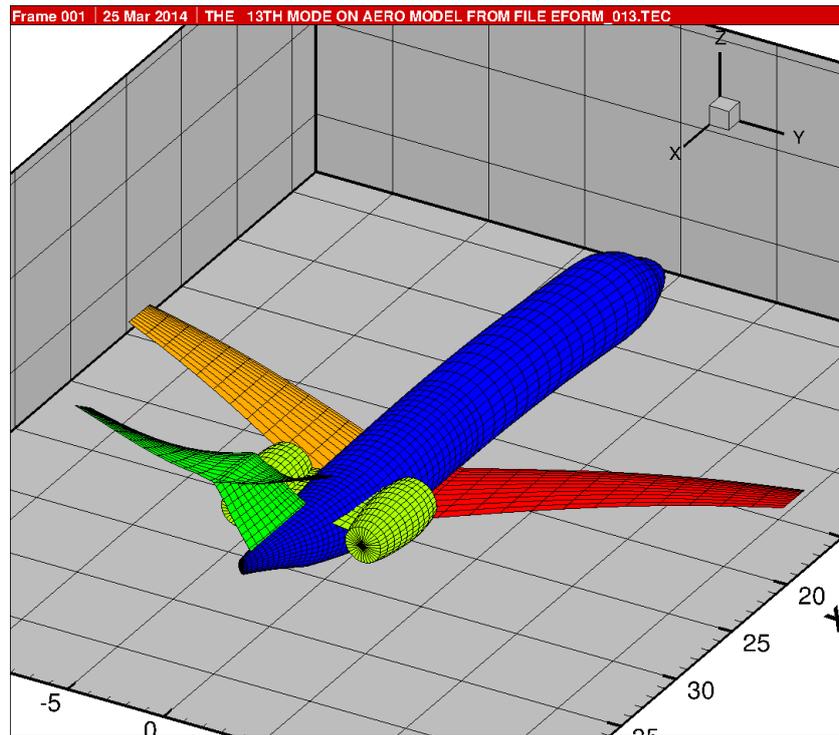


Abbildung 38: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 13. Eigenform, $f = 5.868325E+00$ [Hz]

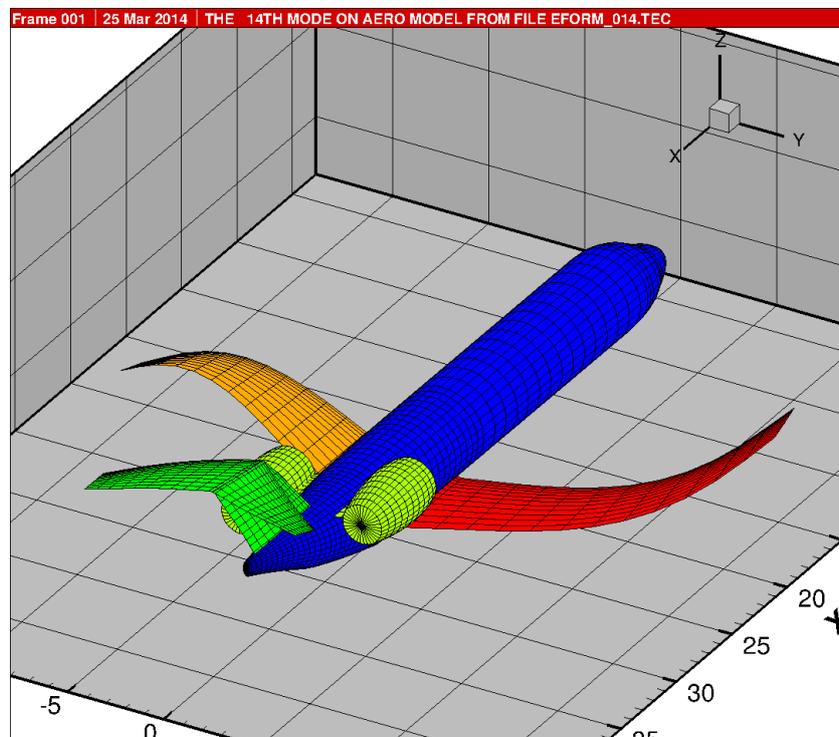


Abbildung 39: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 14. Eigenform, $f = 6.991970E+00$ [Hz]

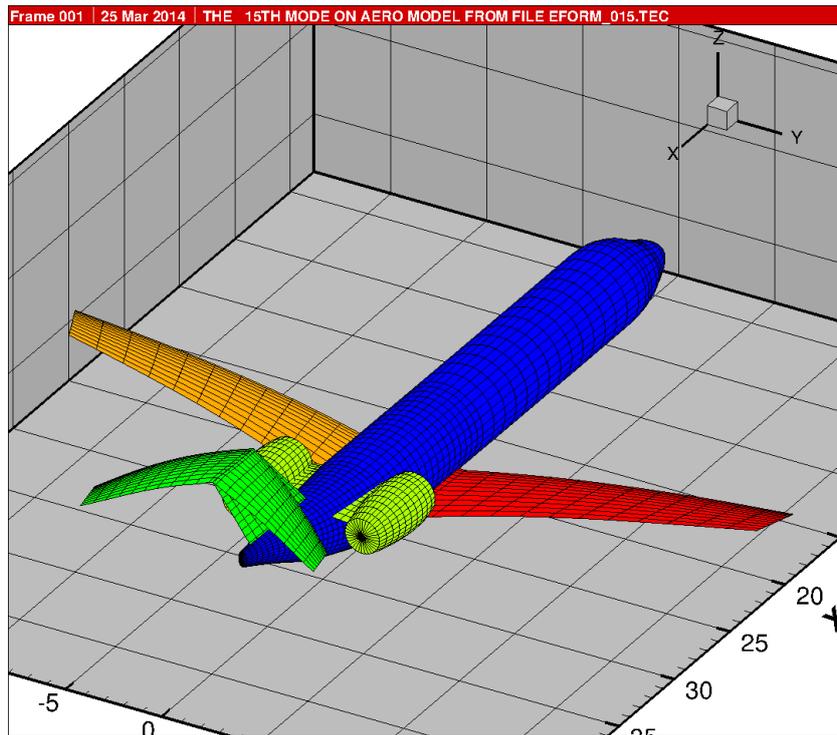


Abbildung 40: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 15. Eigenform, $f = 7.325928E+00$ [Hz]

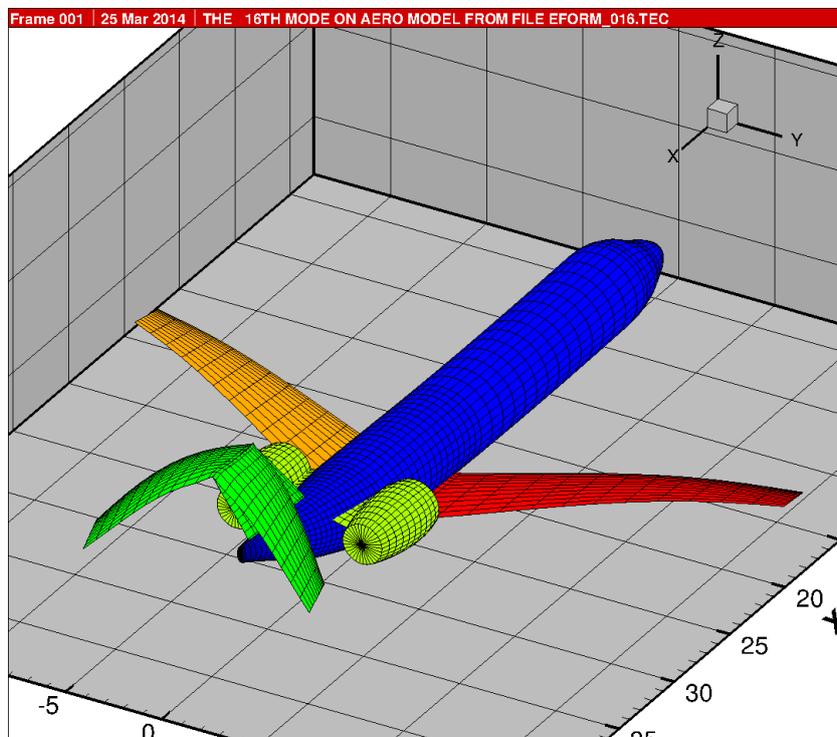


Abbildung 41: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 16. Eigenform, $f = 7.586901E+00$ [Hz]

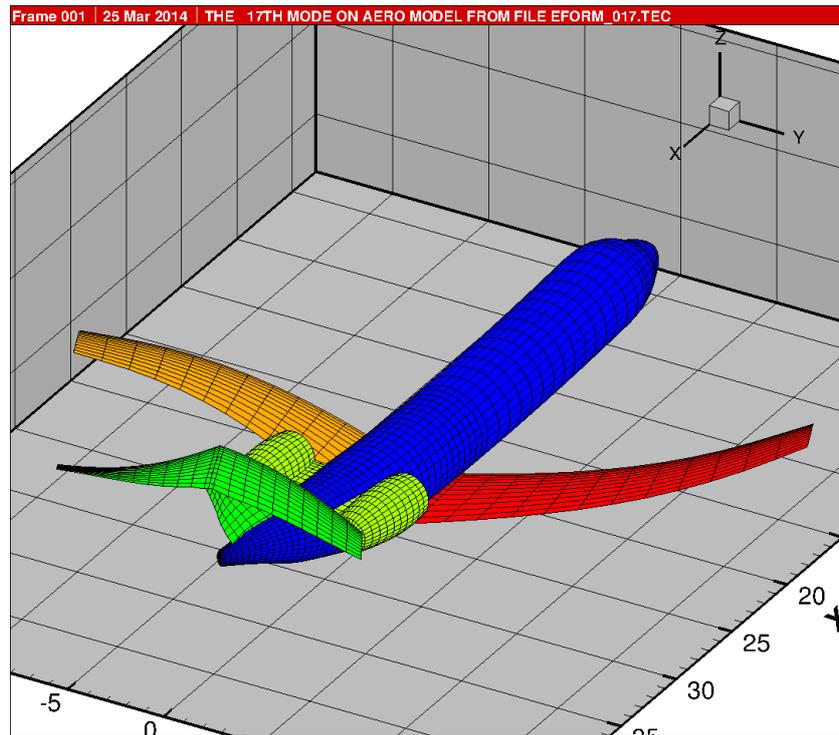


Abbildung 42: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 17. Eigenform, $f = 7.705006E+00$ [Hz]

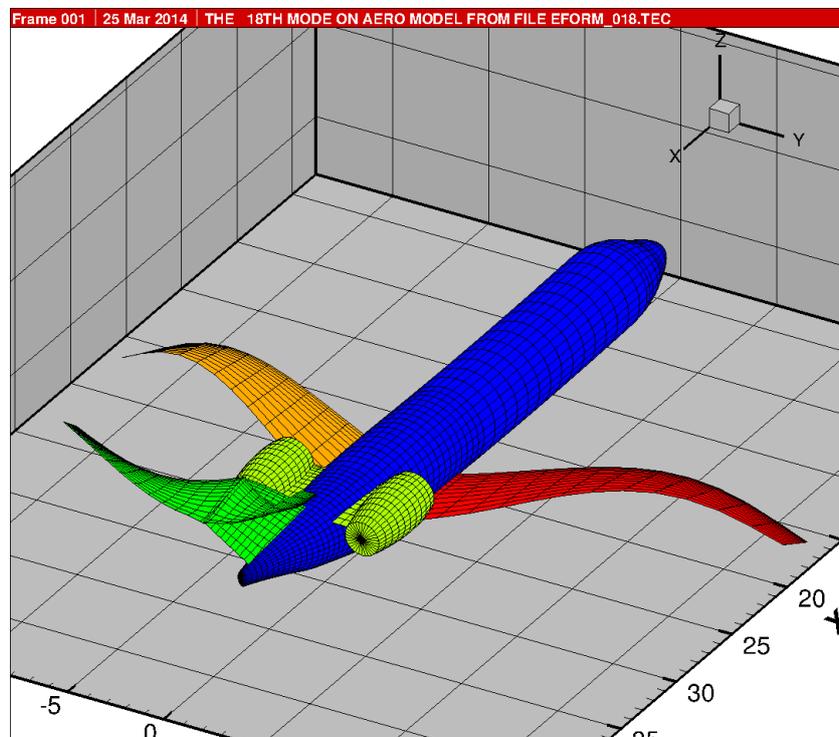


Abbildung 43: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 18. Eigenform, $f = 9.099655E+00$ [Hz]

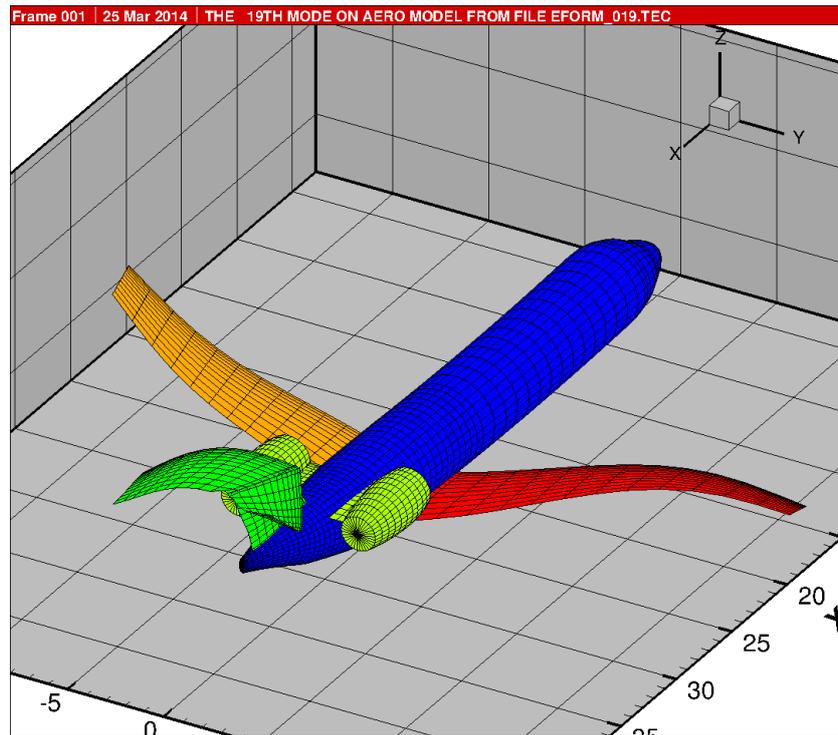


Abbildung 44: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 19. Eigenform, $f = 9.521930E+00$ [Hz]

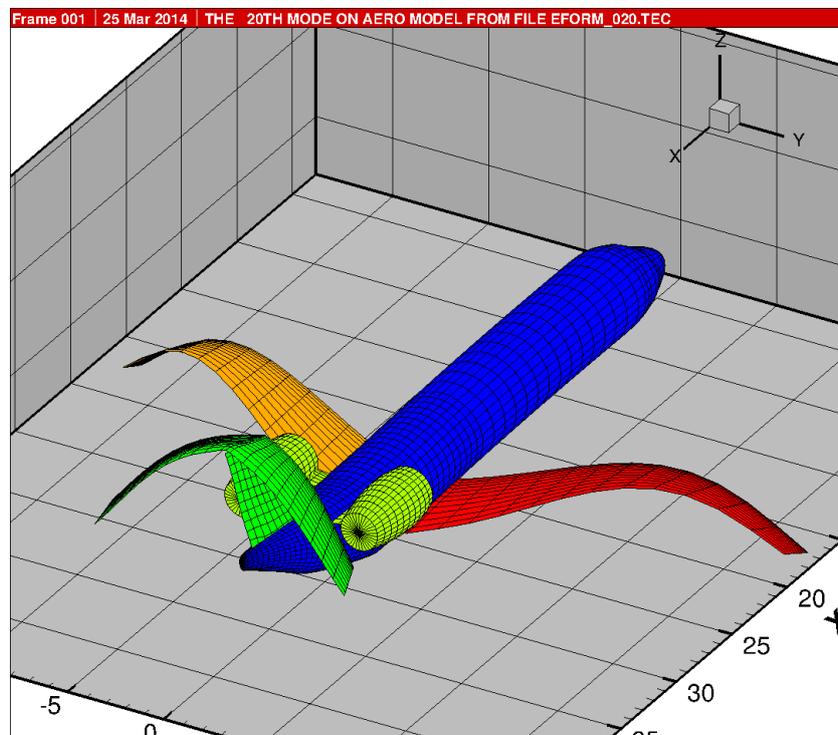


Abbildung 45: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 20. Eigenform, $f = 1.015707E+01$ [Hz]

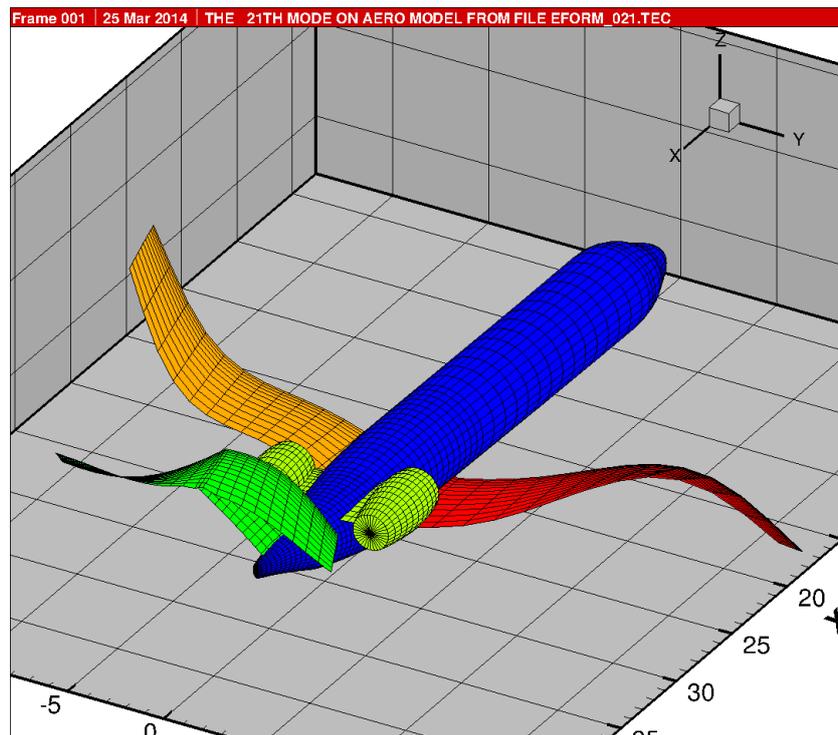


Abbildung 46: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 21. Eigenform, $f = 1.257504E+01$ [Hz]

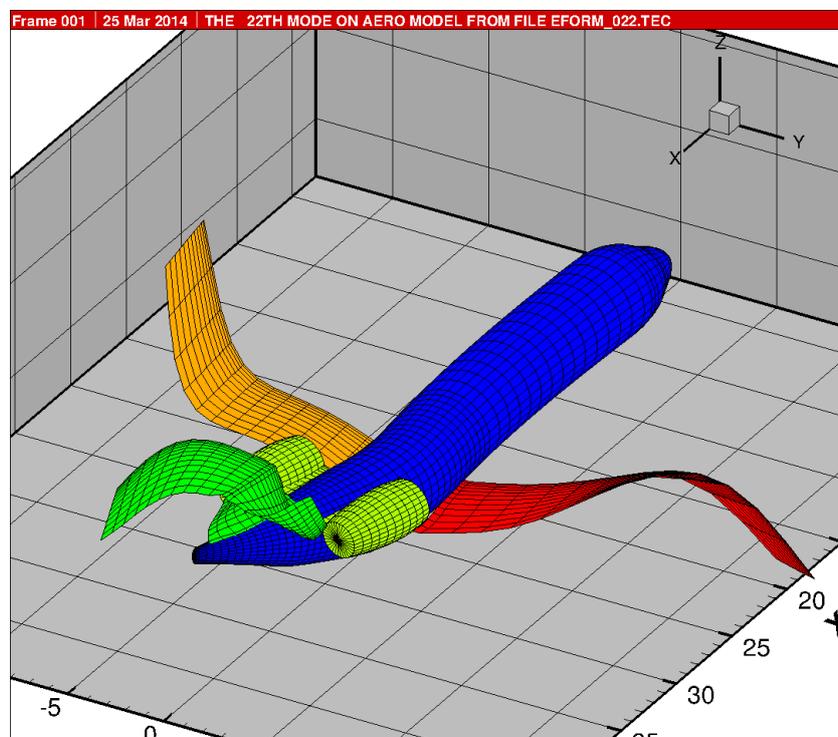


Abbildung 47: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 22. Eigenform, $f = 1.459741E+01$ [Hz]

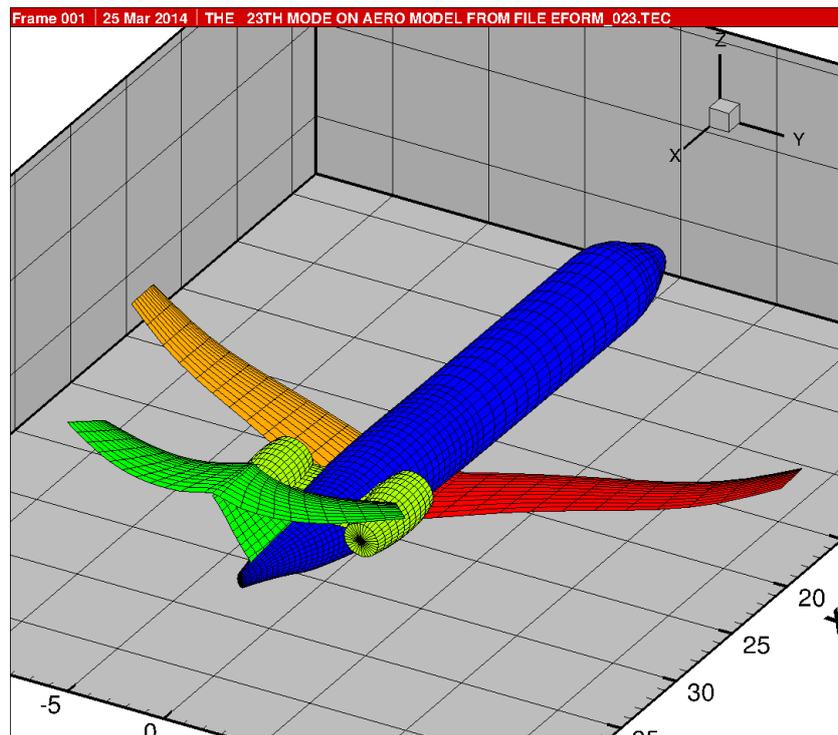


Abbildung 48: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 23. Eigenform, $f = 1.539019E+01$ [Hz]

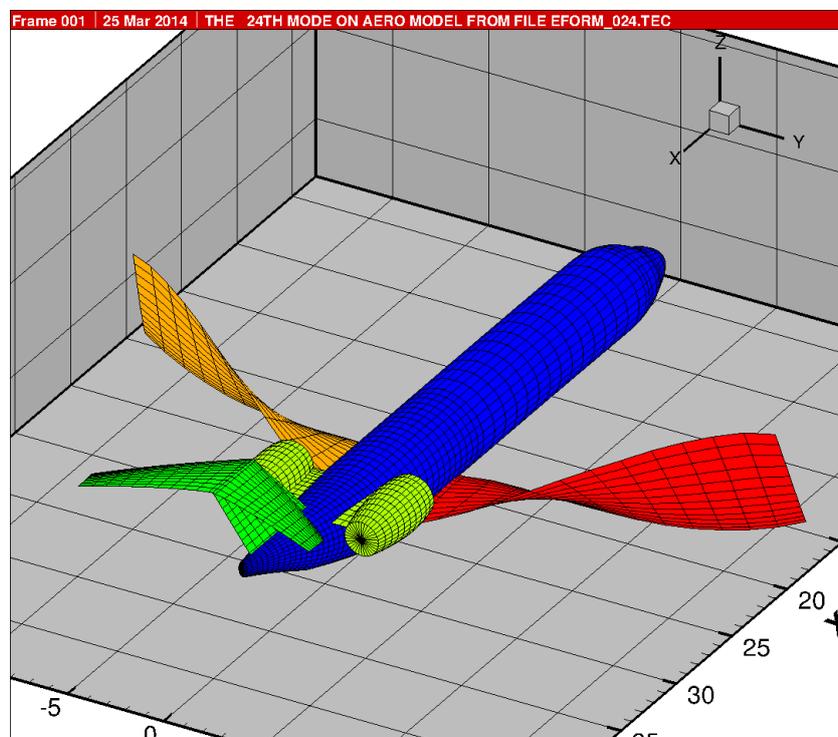


Abbildung 49: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 24. Eigenform, $f = 1.698613E+01$ [Hz]

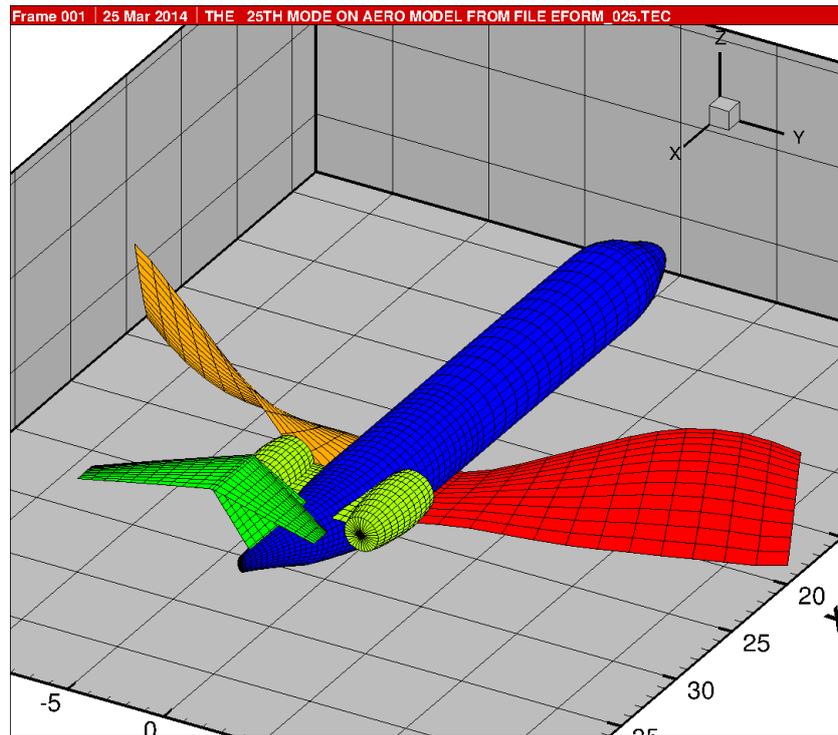


Abbildung 50: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 25. Eigenform, $f = 1.701000E+01$ [Hz]

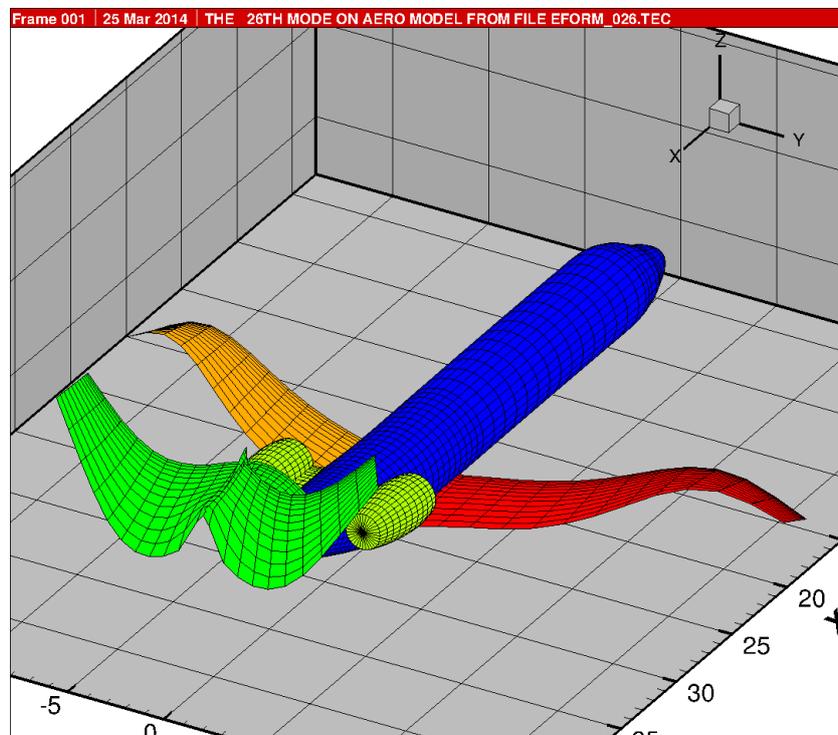


Abbildung 51: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 26. Eigenform, $f = 1.856272E+01$ [Hz]

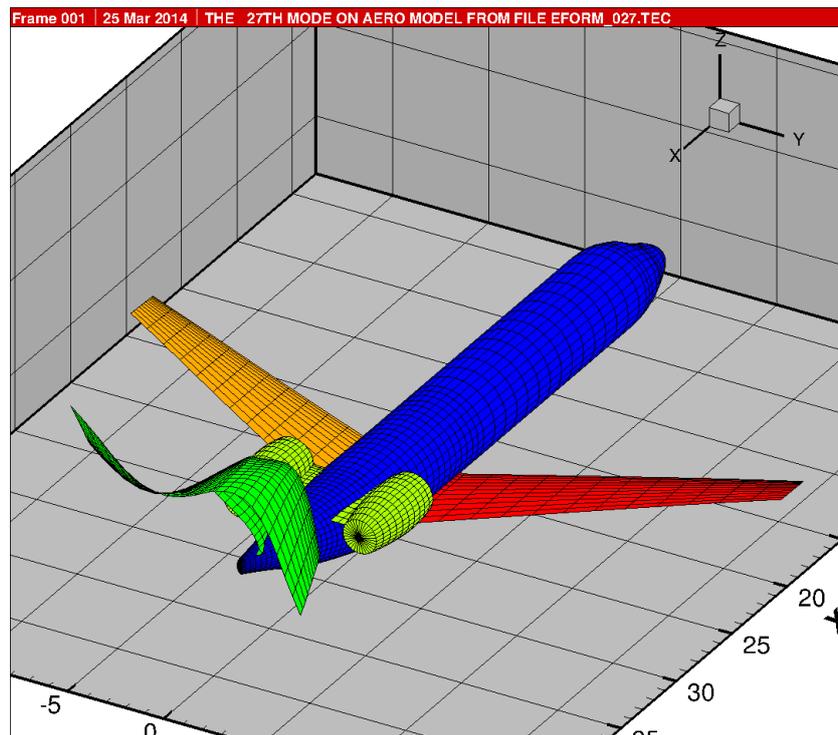


Abbildung 52: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 27. Eigenform, $f = 1.989669E+01$ [Hz]

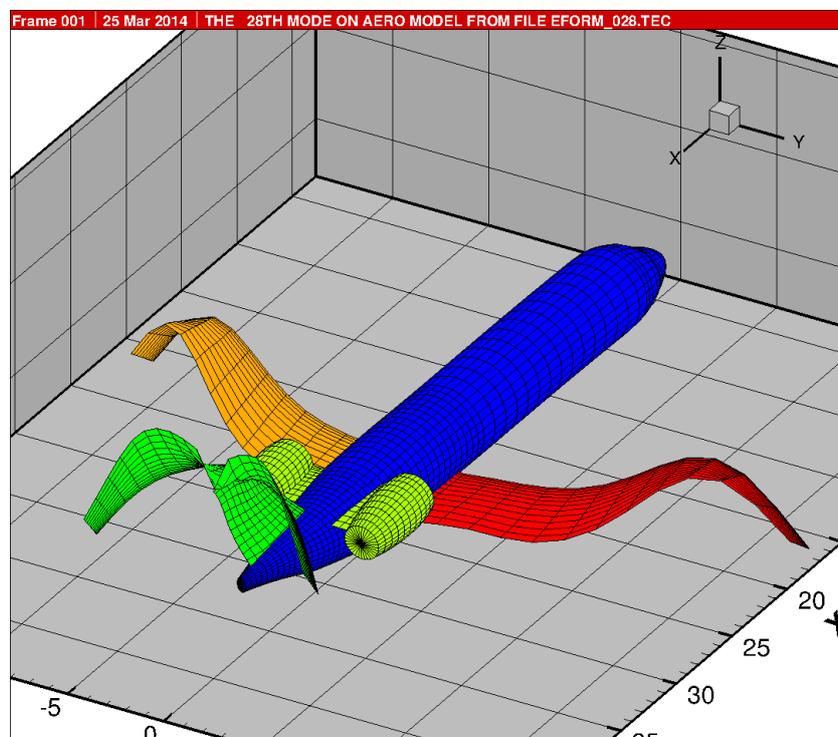


Abbildung 53: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 28. Eigenform, $f = 2.000947E+01$ [Hz]

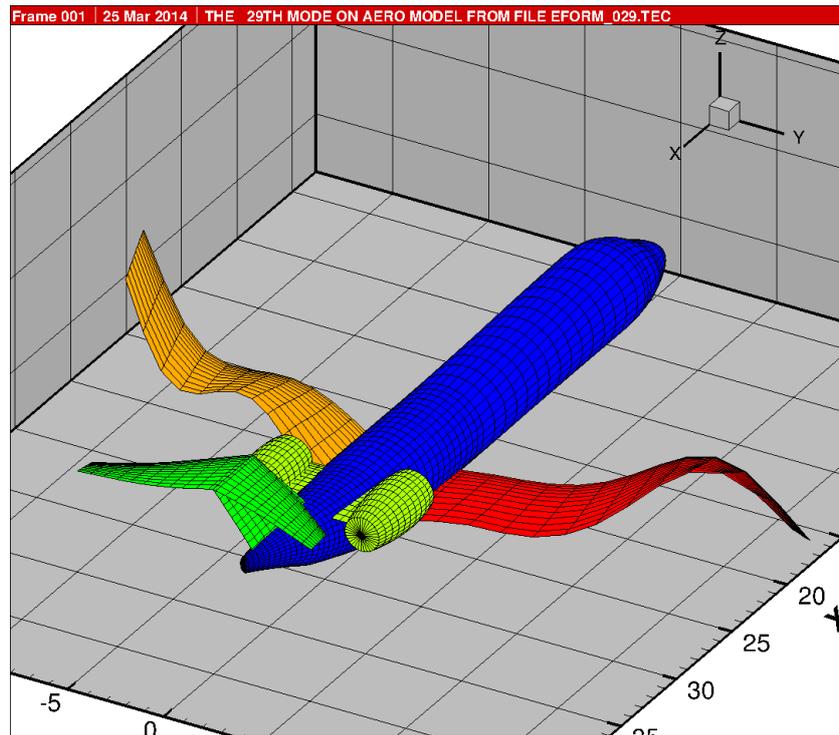


Abbildung 54: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 29. Eigenform, $f = 2.026801E+01$ [Hz]

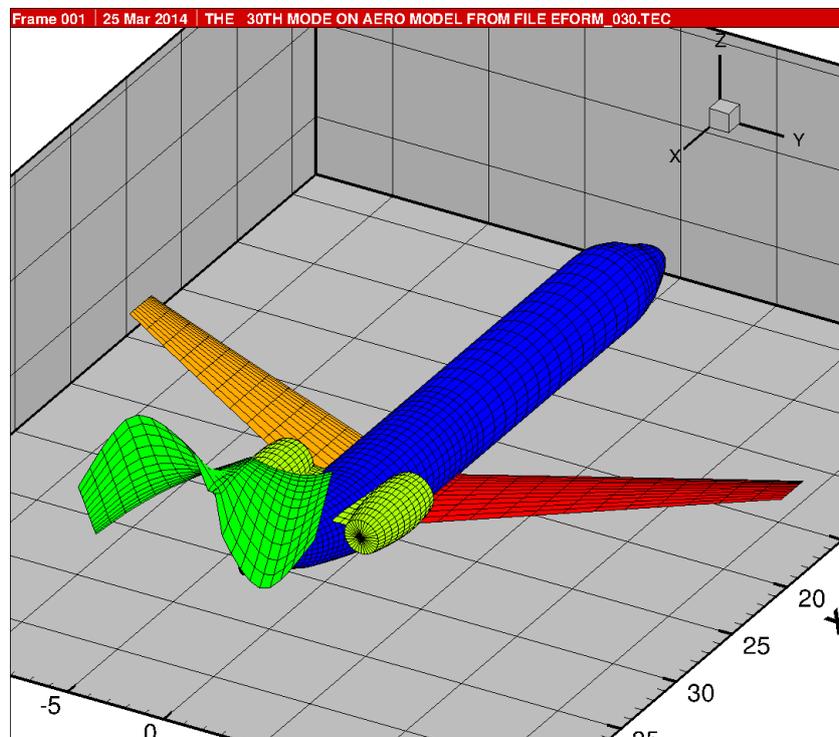


Abbildung 55: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 30. Eigenform, $f = 2.135671E+01$ [Hz]

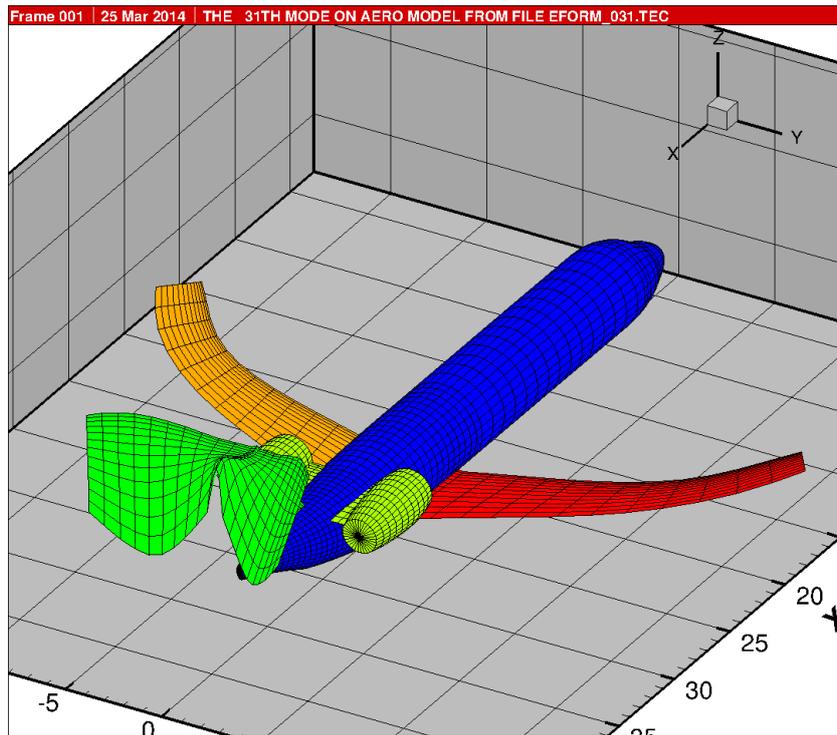


Abbildung 56: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 31. Eigenform, $f = 2.229447E+01$ [Hz]

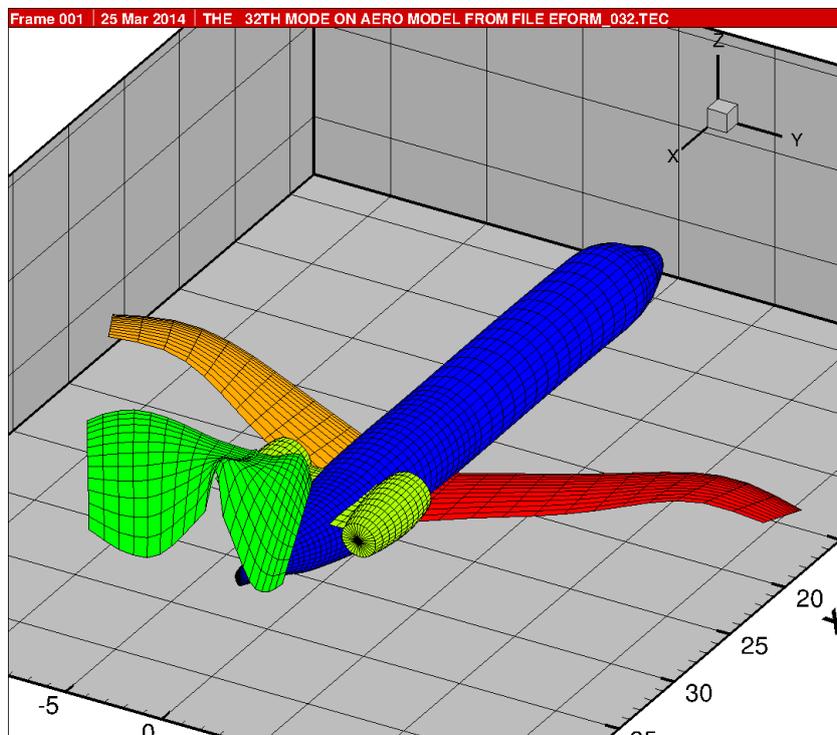


Abbildung 57: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 32. Eigenform, $f = 2.265260E+01$ [Hz]

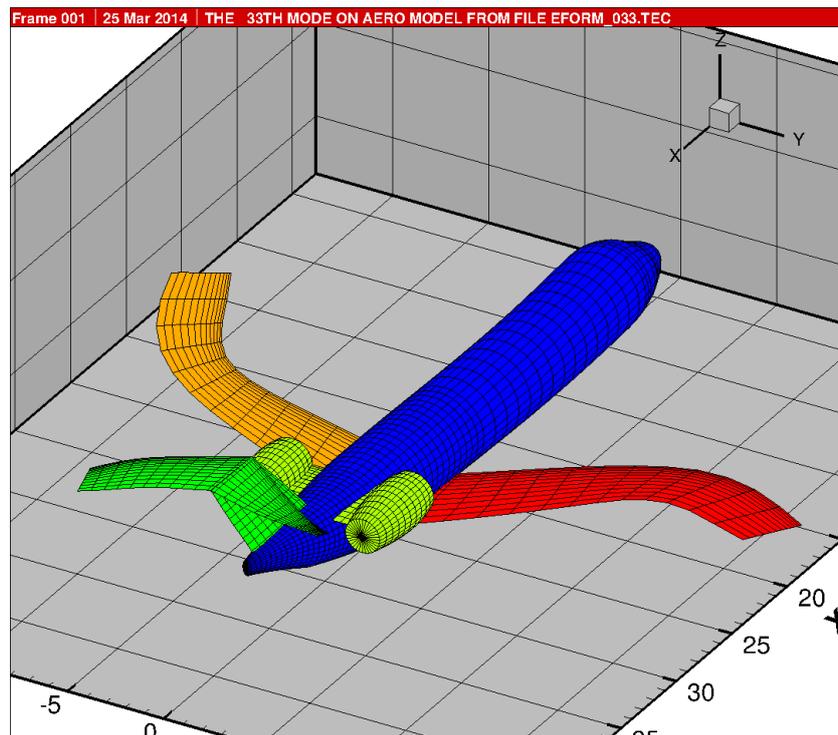


Abbildung 58: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 33. Eigenform, $f = 2.304815E+01$ [Hz]

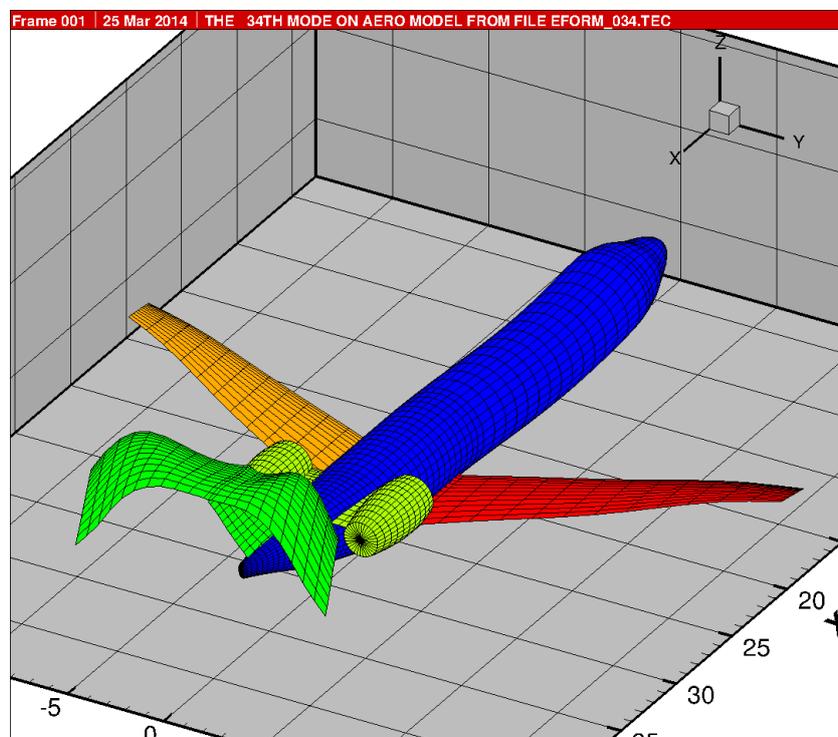


Abbildung 59: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 34. Eigenform, $f = 2.518751E+01$ [Hz]

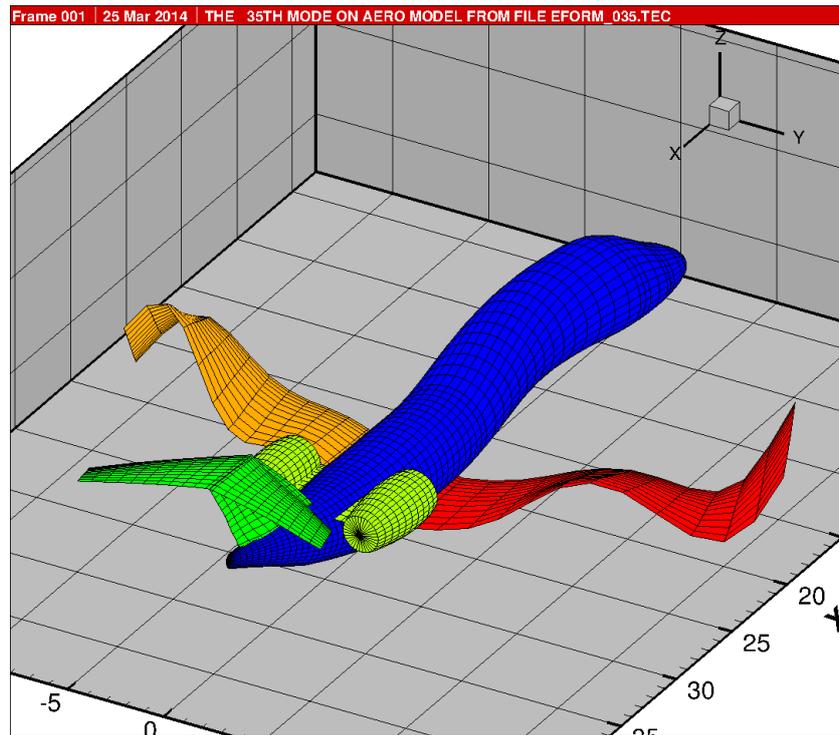


Abbildung 60: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 35. Eigenform, $f = 2.615387E+01$ [Hz]

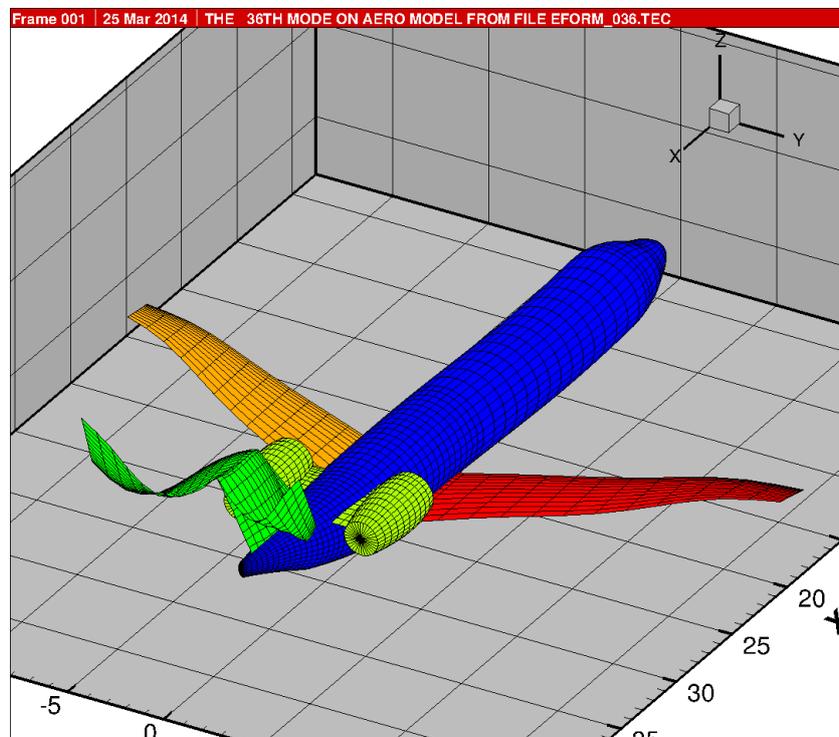


Abbildung 61: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 36. Eigenform, $f = 2.626824E+01$ [Hz]

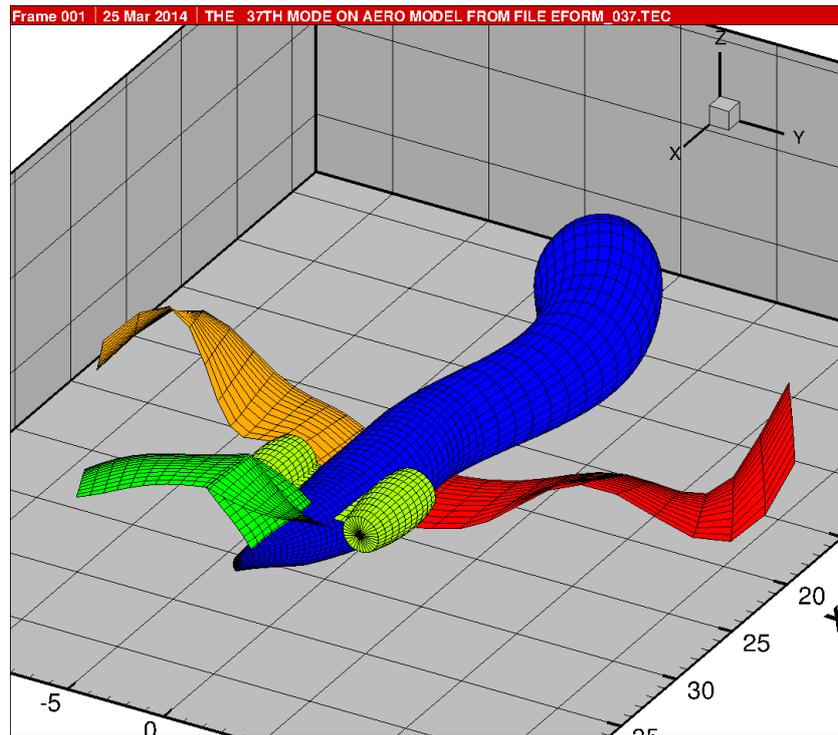


Abbildung 62: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 37. Eigenform, $f = 2.672213E+01$ [Hz]

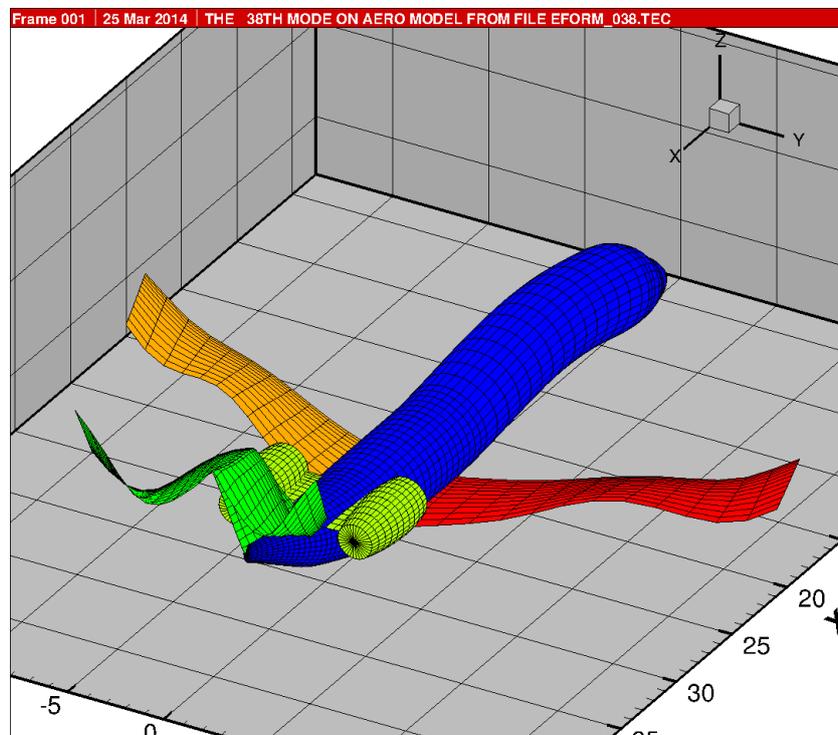


Abbildung 63: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 38. Eigenform, $f = 2.899103E+01$ [Hz]

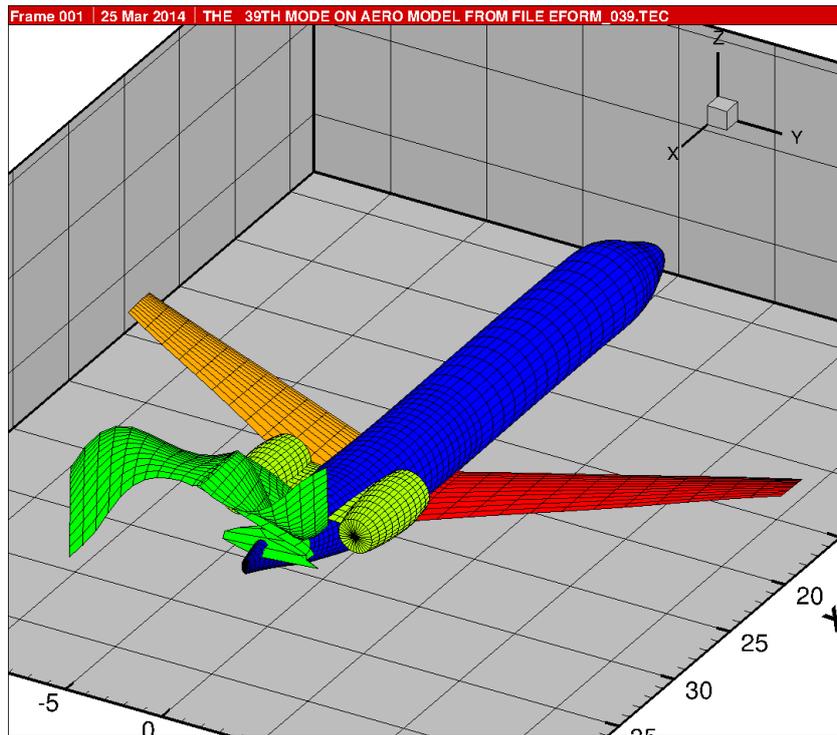


Abbildung 64: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 39. Eigenform, $f = 2.906864E+01$ [Hz]

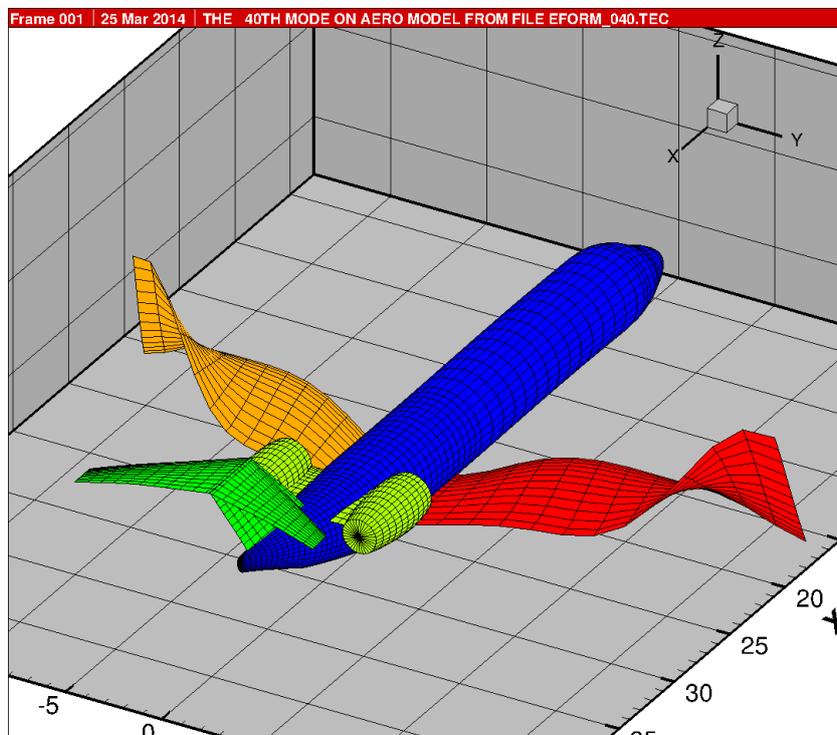


Abbildung 65: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 40. Eigenform, $f = 3.065573E+01$ [Hz]

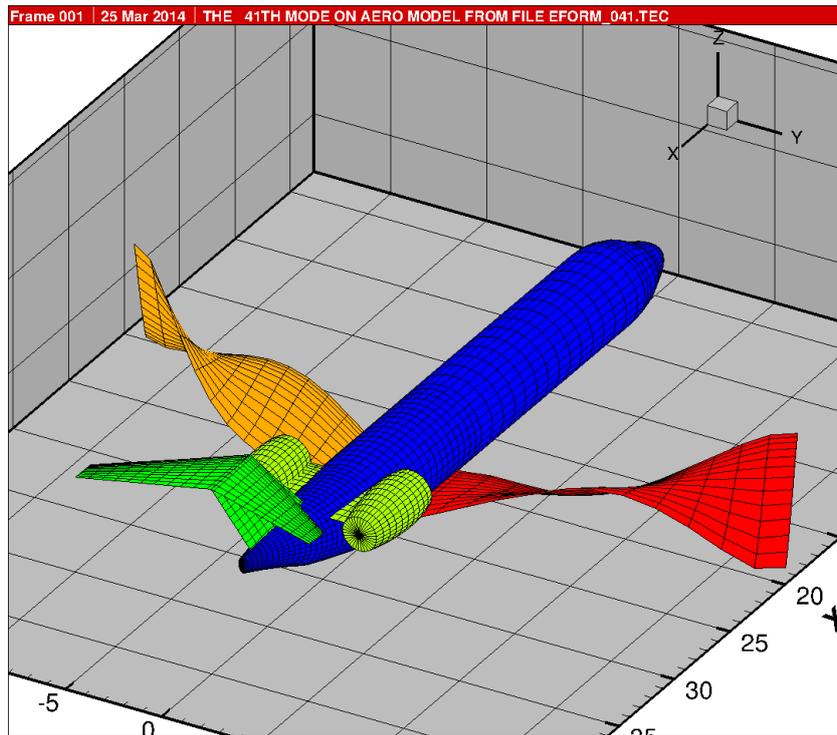


Abbildung 66: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 41. Eigenform, $f = 3.089878E+01$ [Hz]

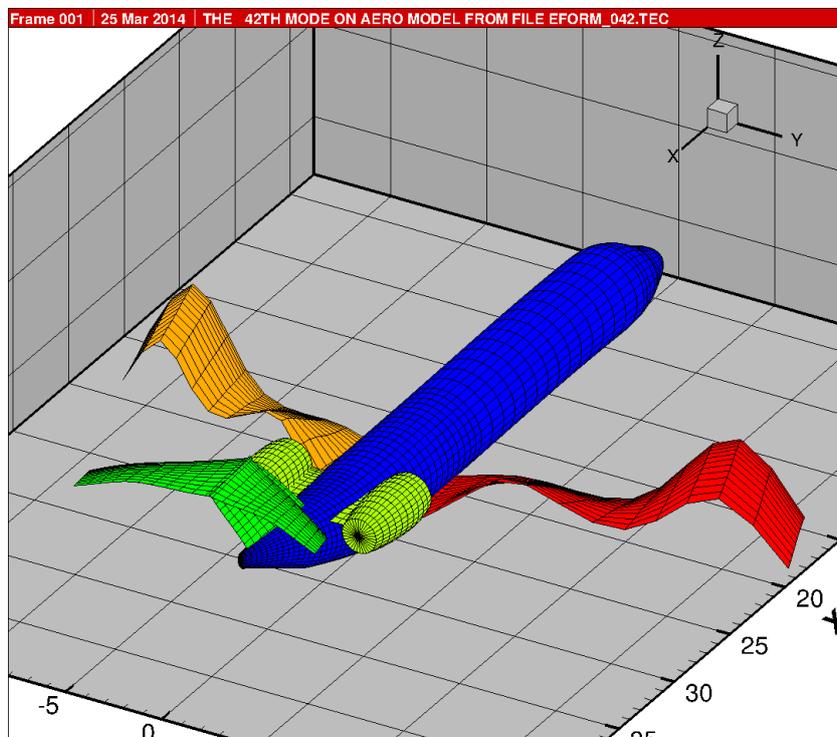


Abbildung 67: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 42. Eigenform, $f = 3.214464E+01$ [Hz]

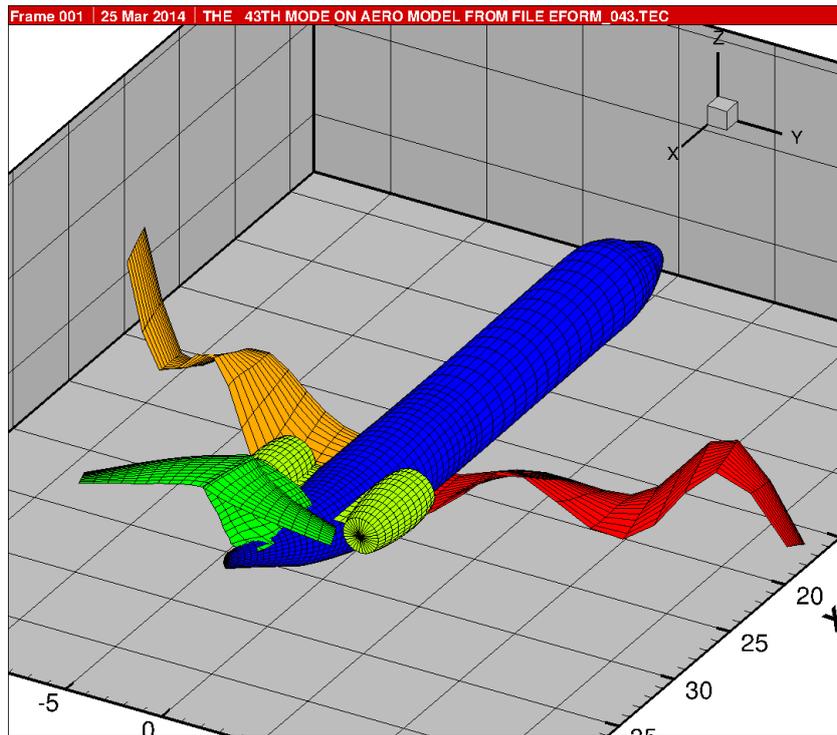


Abbildung 68: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 43. Eigenform, $f = 3.332541E+01$ [Hz]

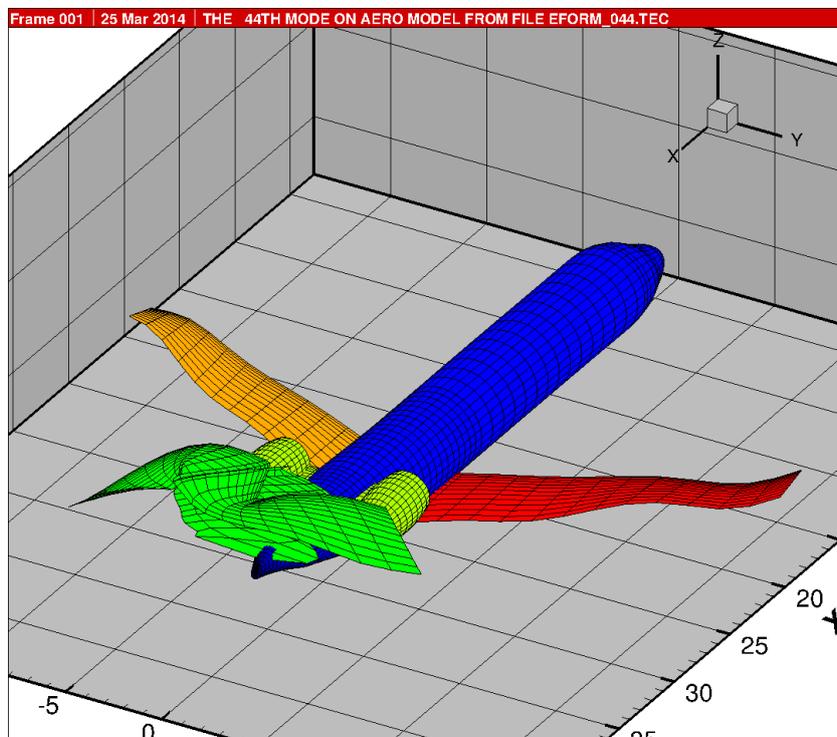


Abbildung 69: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 44. Eigenform, $f = 3.710342E+01$ [Hz]

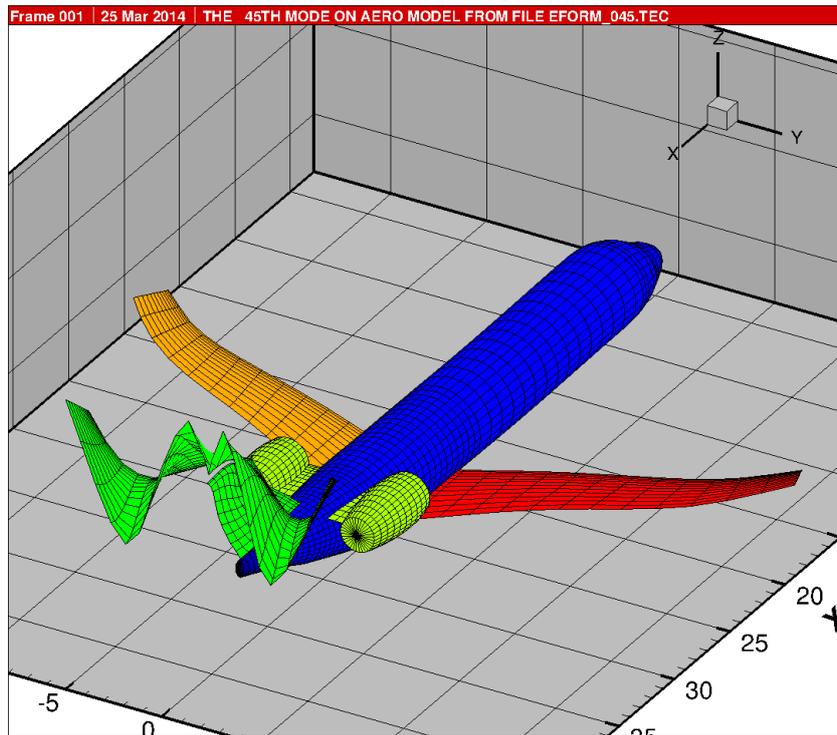


Abbildung 70: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 45. Eigenform, $f = 3.966279E+01$ [Hz]

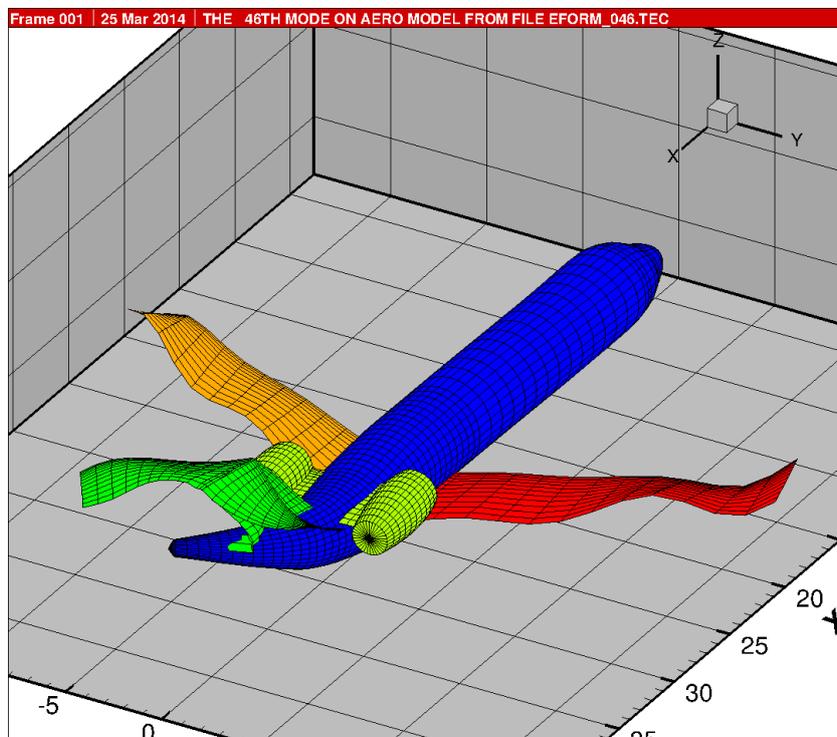


Abbildung 71: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 46. Eigenform, $f = 4.033482E+01$ [Hz]

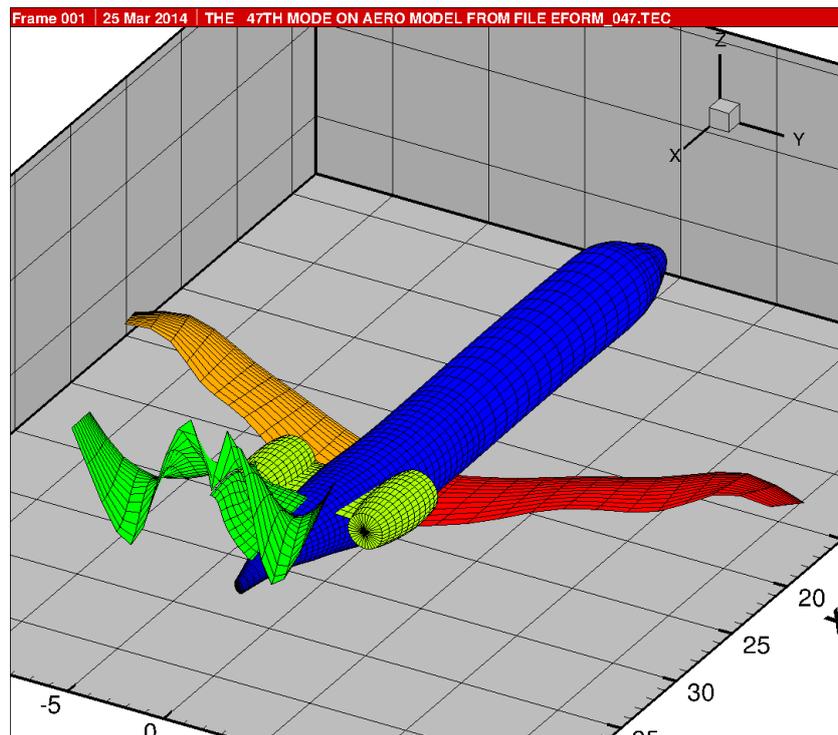


Abbildung 72: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 47. Eigenform, $f = 4.145880E+01$ [Hz]

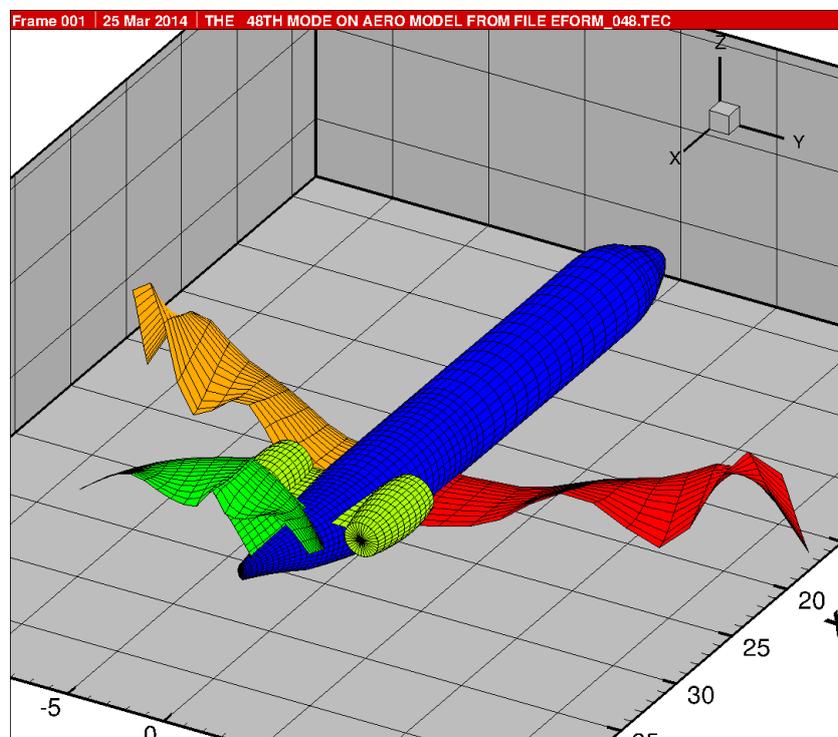


Abbildung 73: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 48. Eigenform, $f = 4.330667E+01$ [Hz]

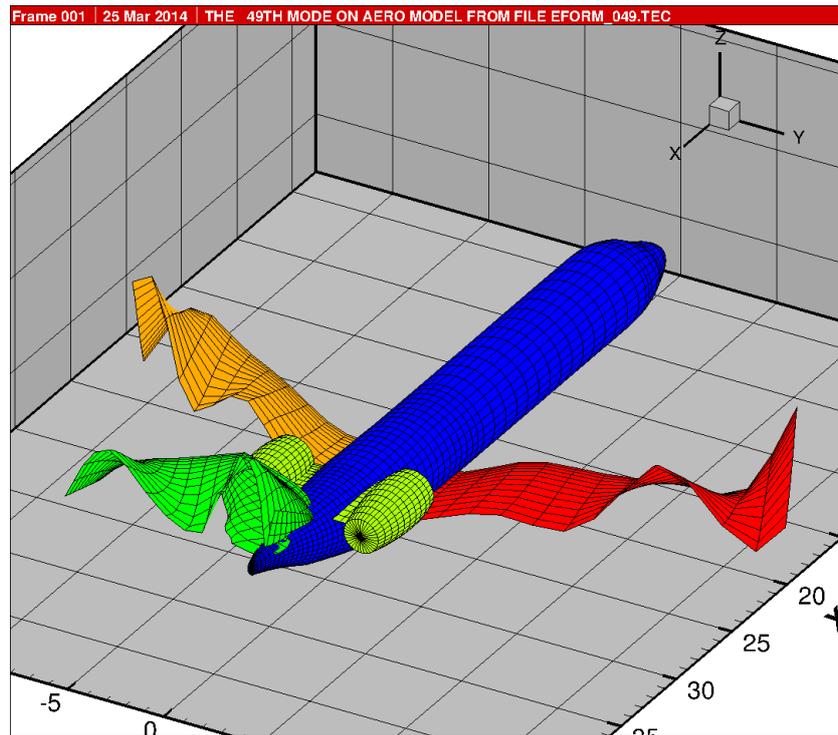


Abbildung 74: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 49. Eigenform, $f = 4.357318E+01$ [Hz]

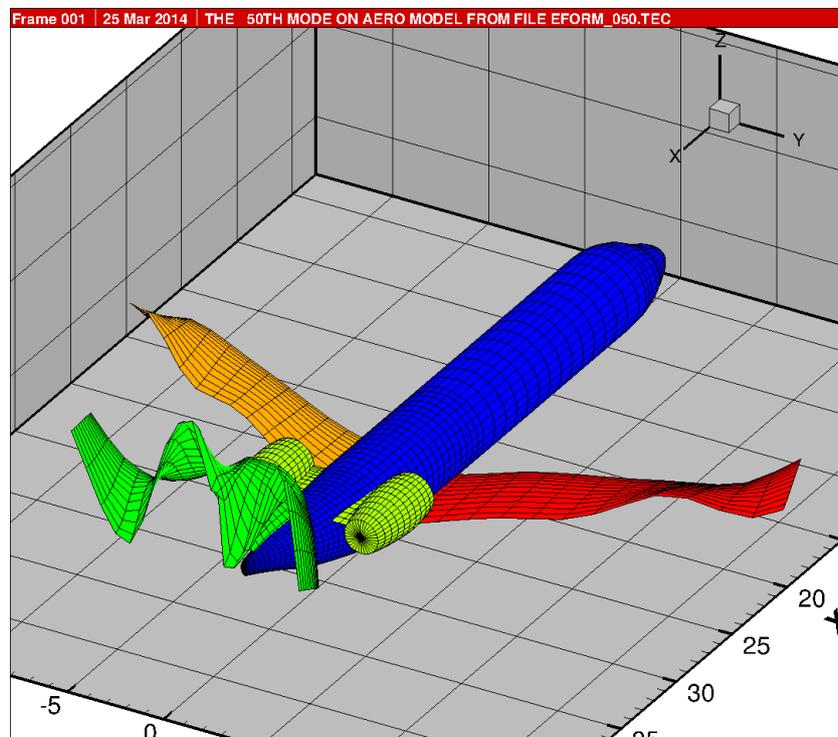


Abbildung 75: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 50. Eigenform, $f = 4.386464E+01$ [Hz]

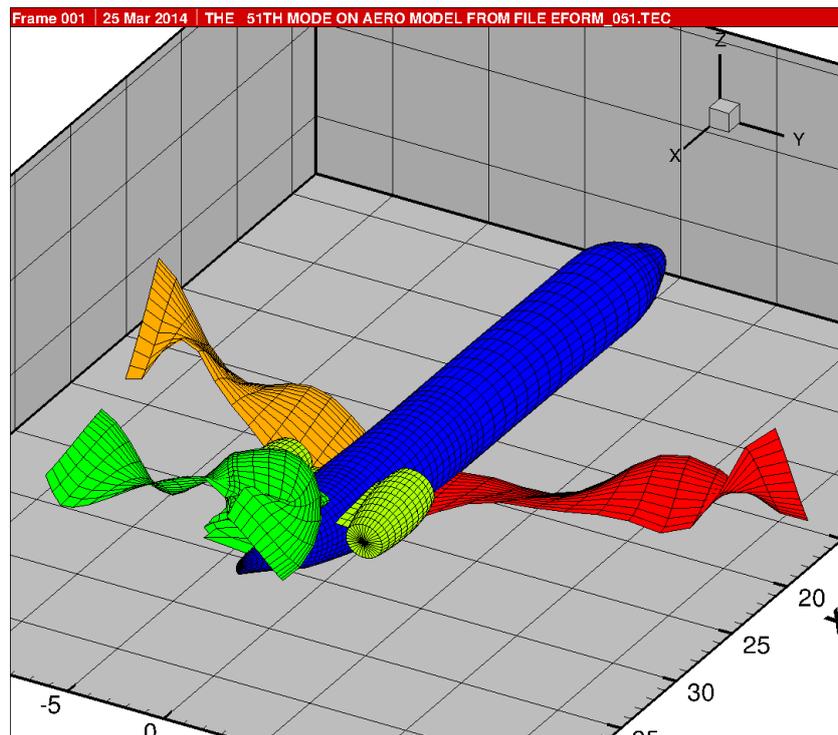


Abbildung 76: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 51. Eigenform, $f = 4.519809E+01$ [Hz]

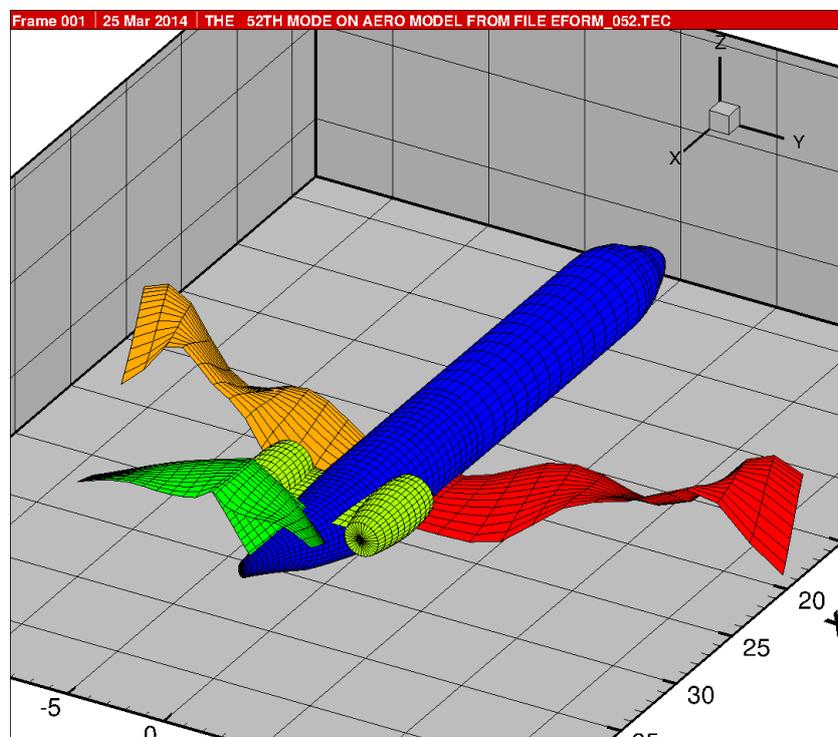


Abbildung 77: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 52. Eigenform, $f = 4.553578E+01$ [Hz]

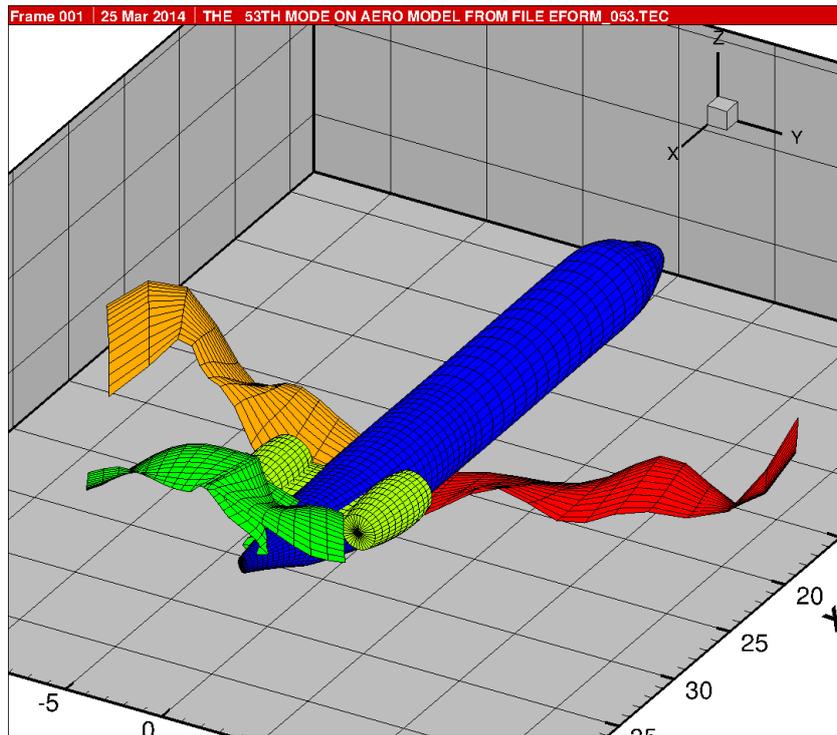


Abbildung 78: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 53. Eigenform, $f = 4.566866E+01$ [Hz]

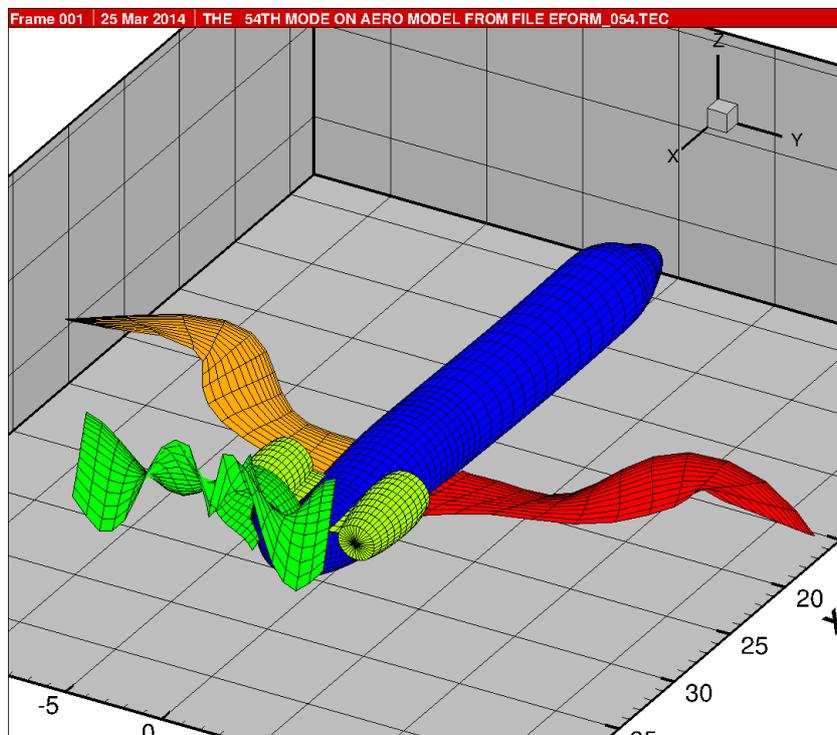


Abbildung 79: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 54. Eigenform, $f = 4.676183E+01$ [Hz]

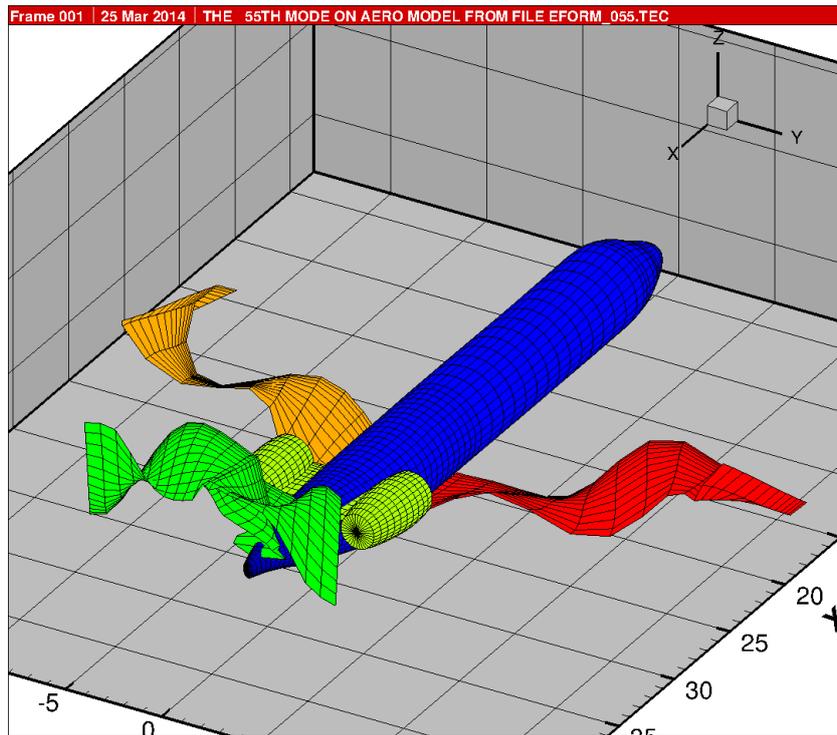


Abbildung 80: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 55. Eigenform, $f = 4.688603E+01$ [Hz]

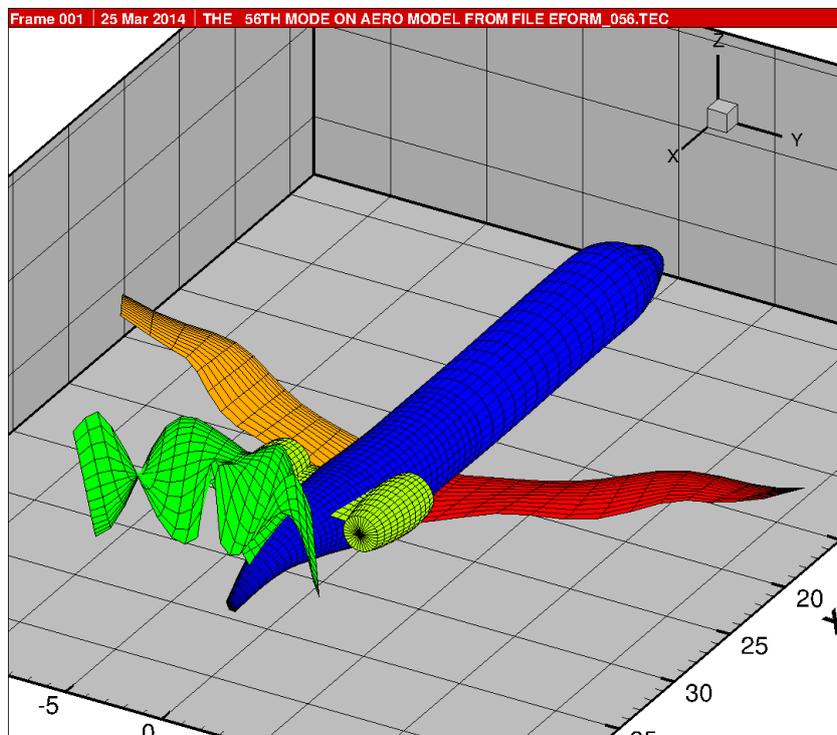


Abbildung 81: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 56. Eigenform, $f = 4.764527E+01$ [Hz]

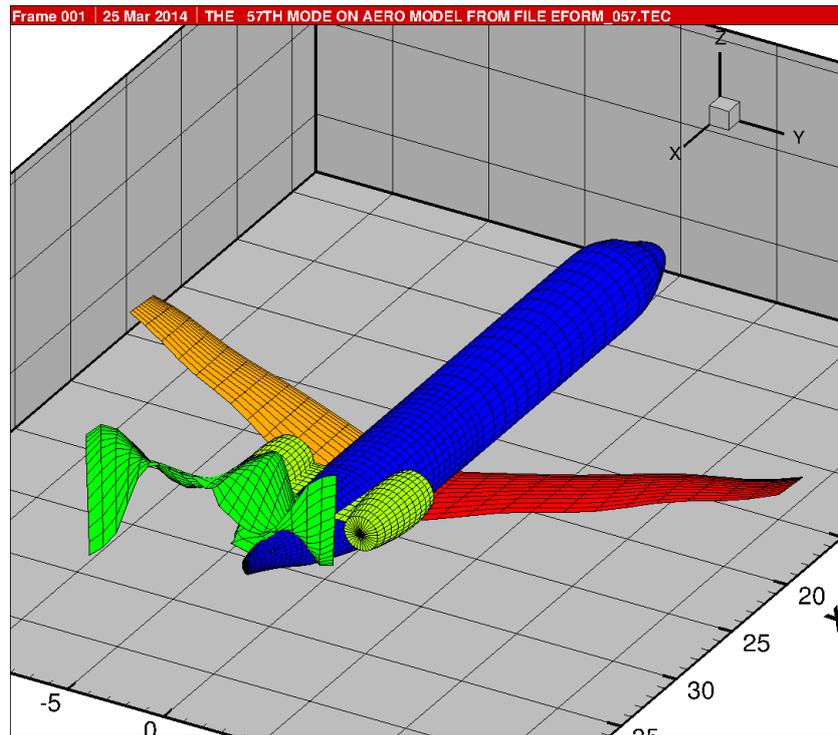


Abbildung 82: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 57. Eigenform, $f = 4.789441E+01$ [Hz]

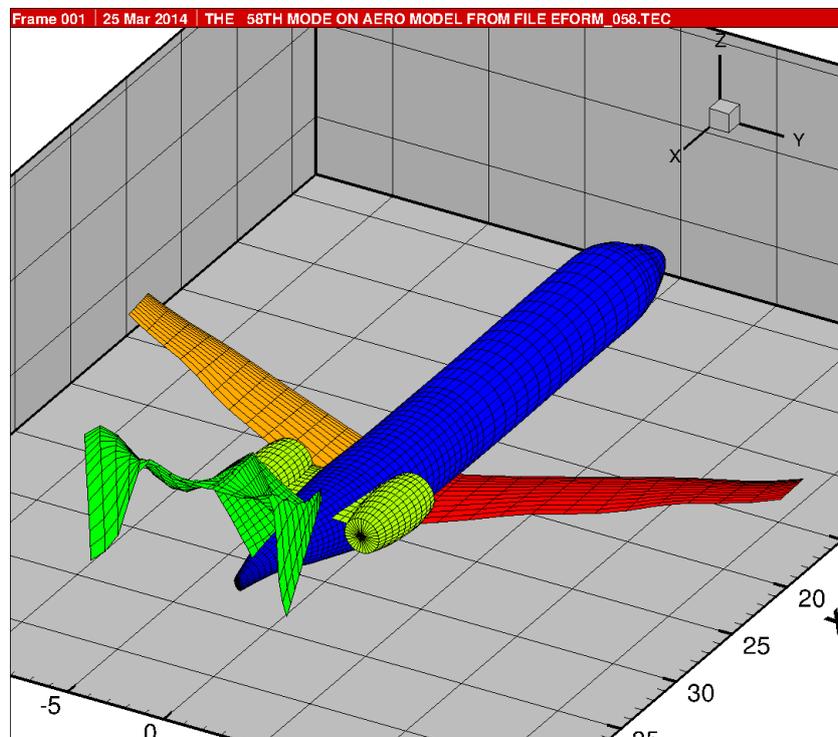


Abbildung 83: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 58. Eigenform, $f = 5.210168E+01$ [Hz]

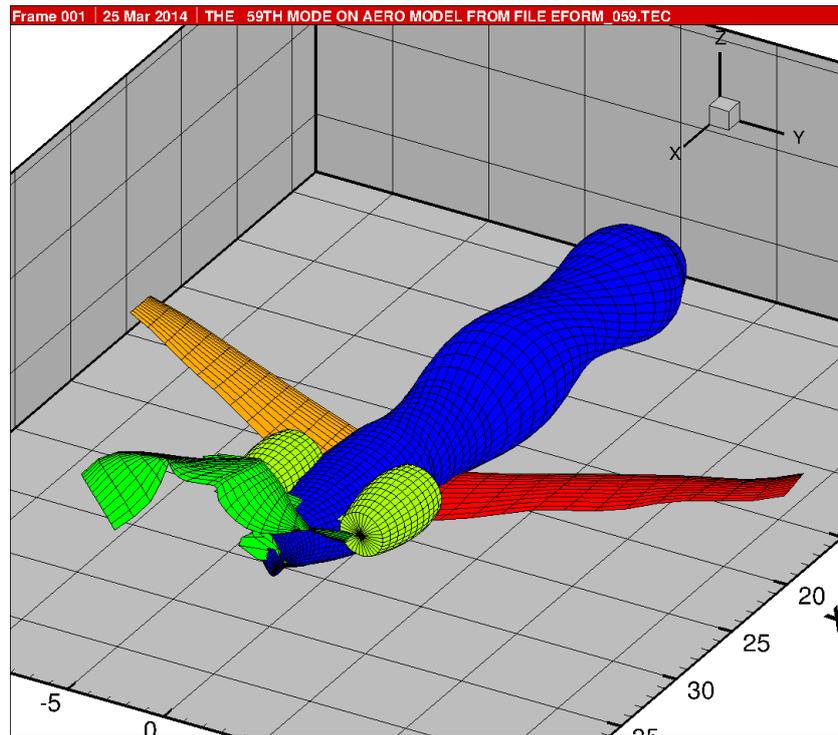


Abbildung 84: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 59. Eigenform, $f = 5.448549E+01$ [Hz]

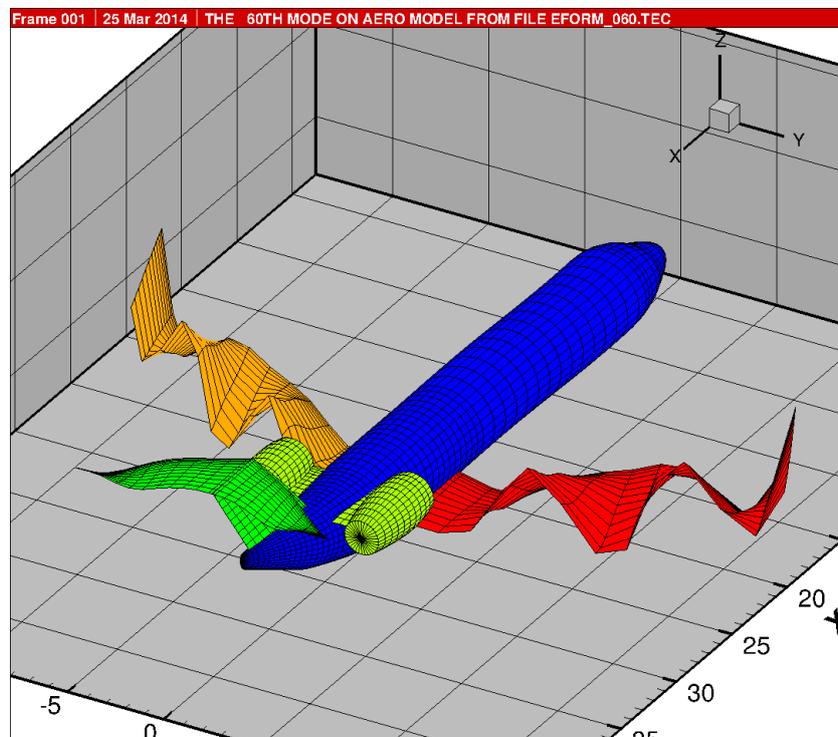


Abbildung 85: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 60. Eigenform, $f = 5.460419E+01$ [Hz]

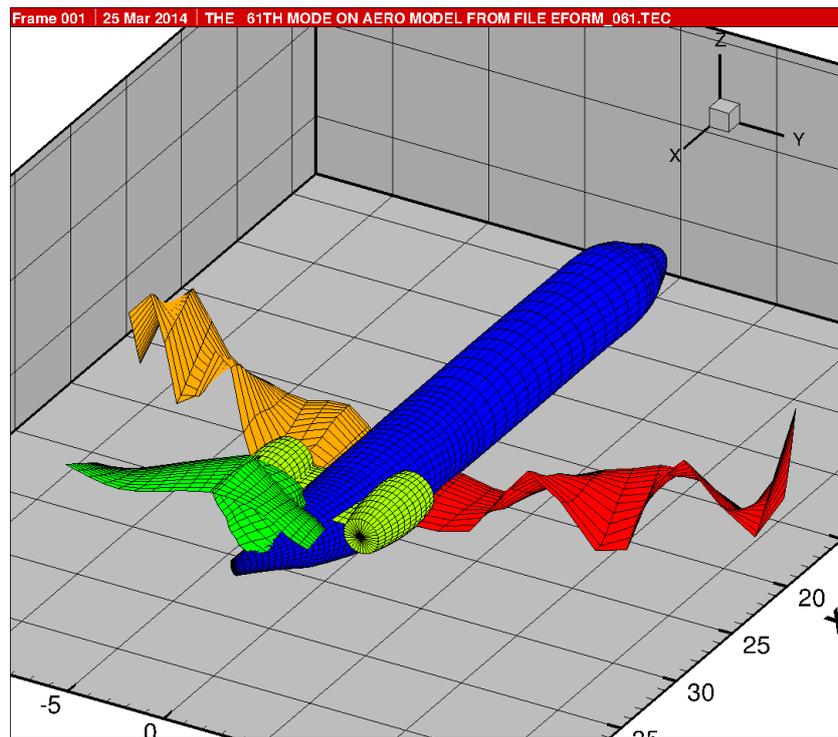


Abbildung 86: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 61. Eigenform, $f = 5.508235E+01$ [Hz]

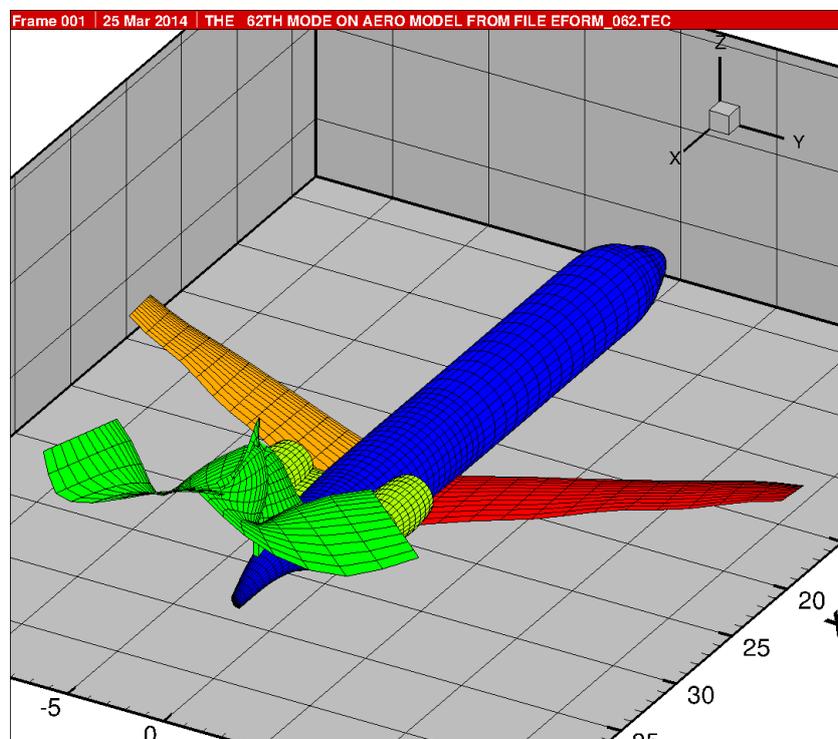


Abbildung 87: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 62. Eigenform, $f = 5.569471E+01$ [Hz]

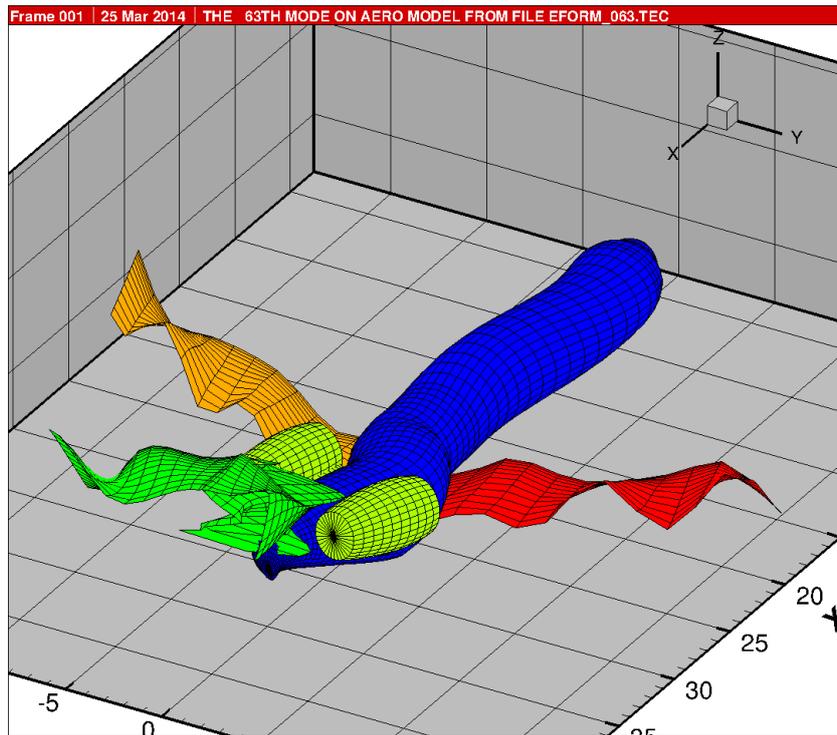


Abbildung 88: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 63. Eigenform, $f = 5.848200E+01$ [Hz]

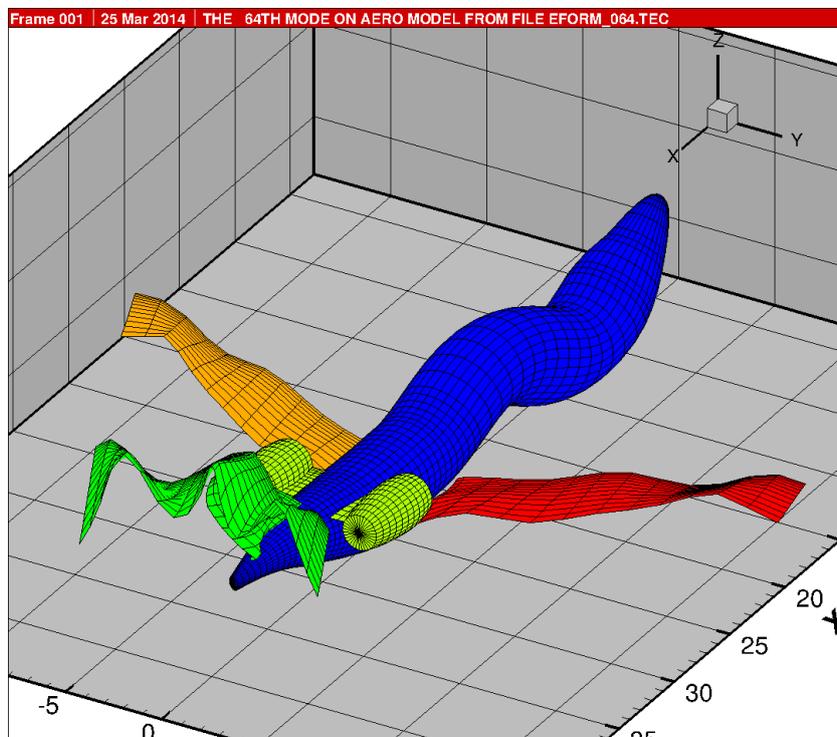


Abbildung 89: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 64. Eigenform, $f = 5.905713E+01$ [Hz]

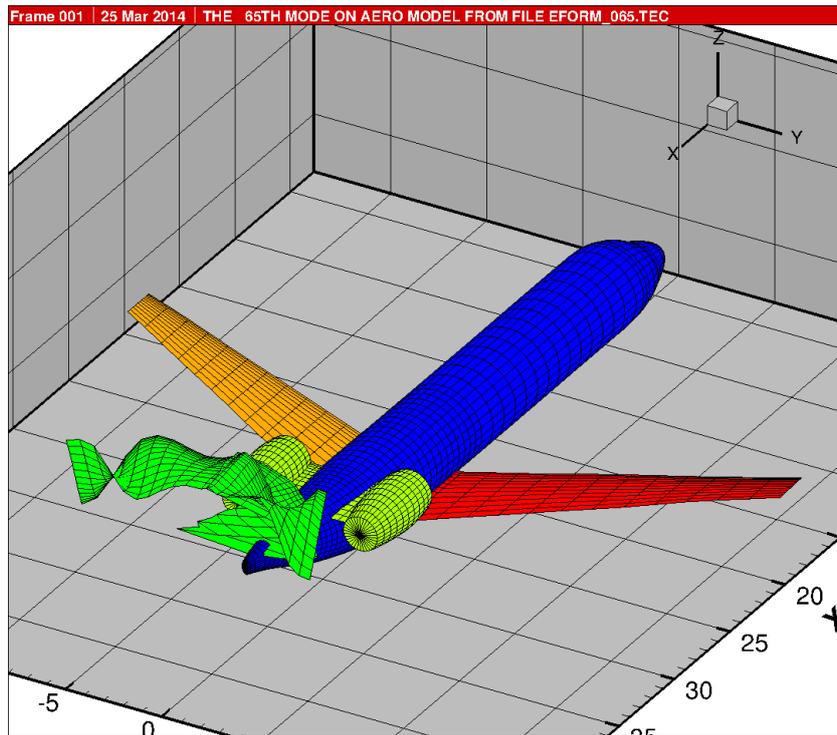


Abbildung 90: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 65. Eigenform, $f = 5.918101E+01$ [Hz]

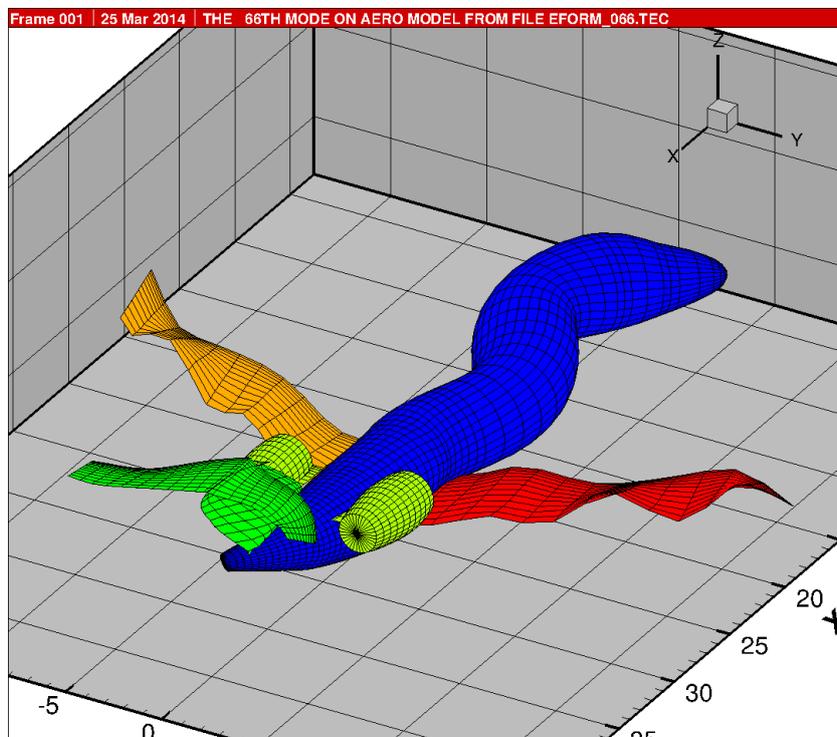


Abbildung 91: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 66. Eigenform, $f = 5.971543E+01$ [Hz]

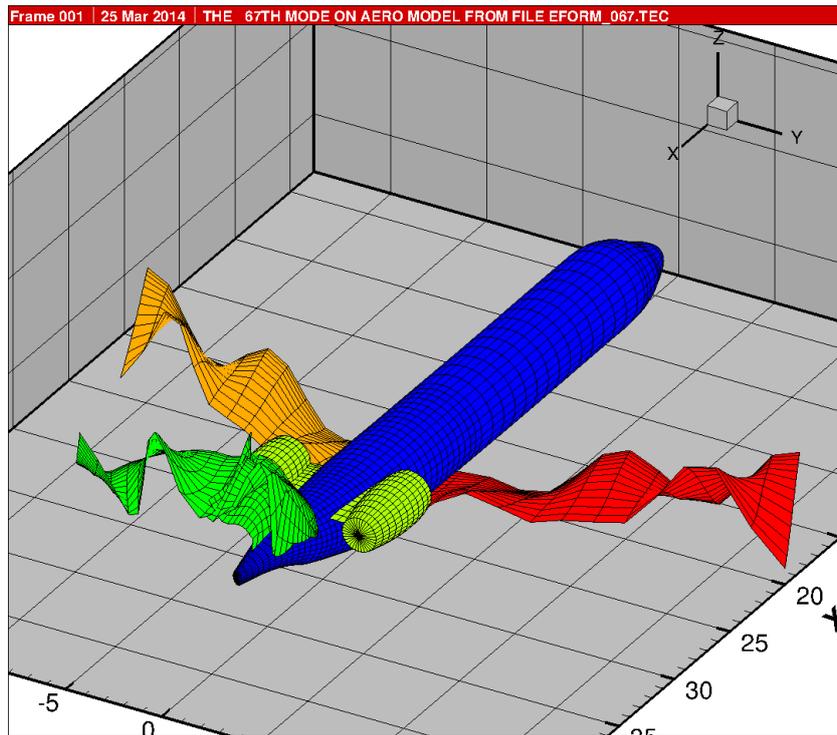


Abbildung 92: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 67. Eigenform, $f = 6.161551E+01$ [Hz]

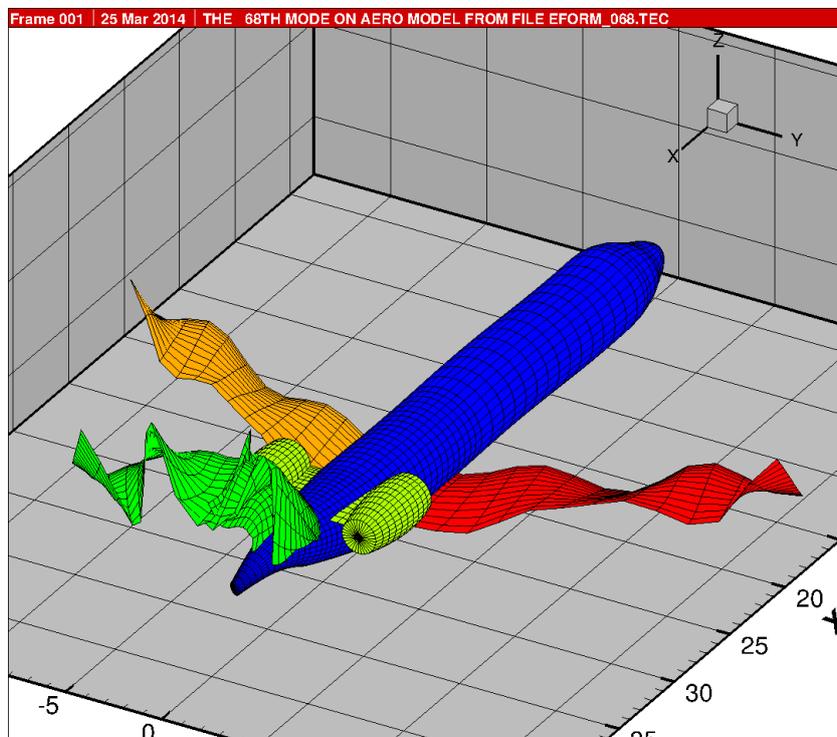


Abbildung 93: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 68. Eigenform, $f = 6.188000E+01$ [Hz]

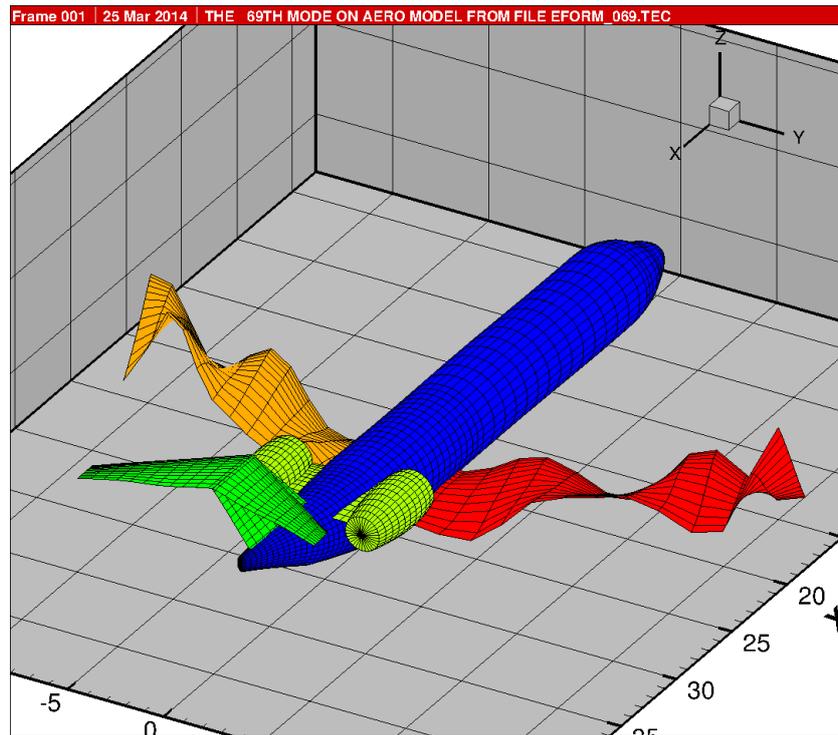


Abbildung 94: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 69. Eigenform, $f = 6.201774E+01$ [Hz]

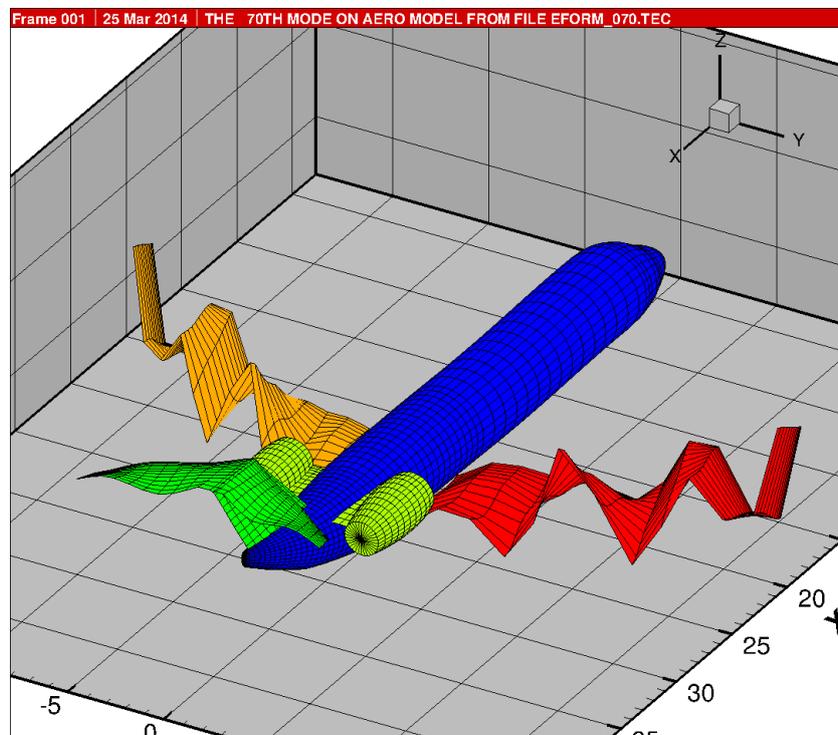


Abbildung 95: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 70. Eigenform, $f = 6.604864E+01$ [Hz]

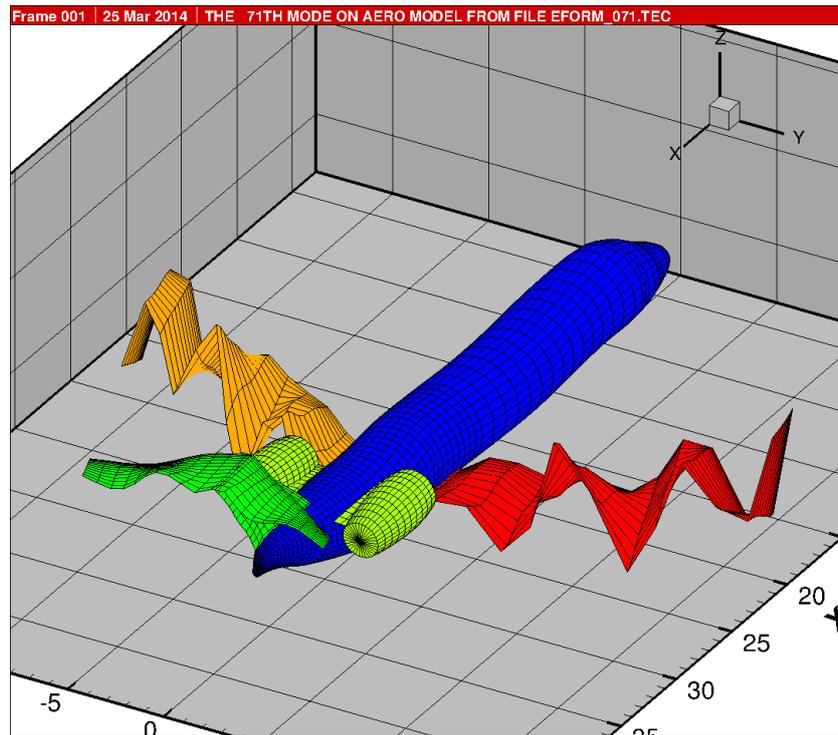


Abbildung 96: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 71. Eigenform, $f = 6.654504E+01$ [Hz]

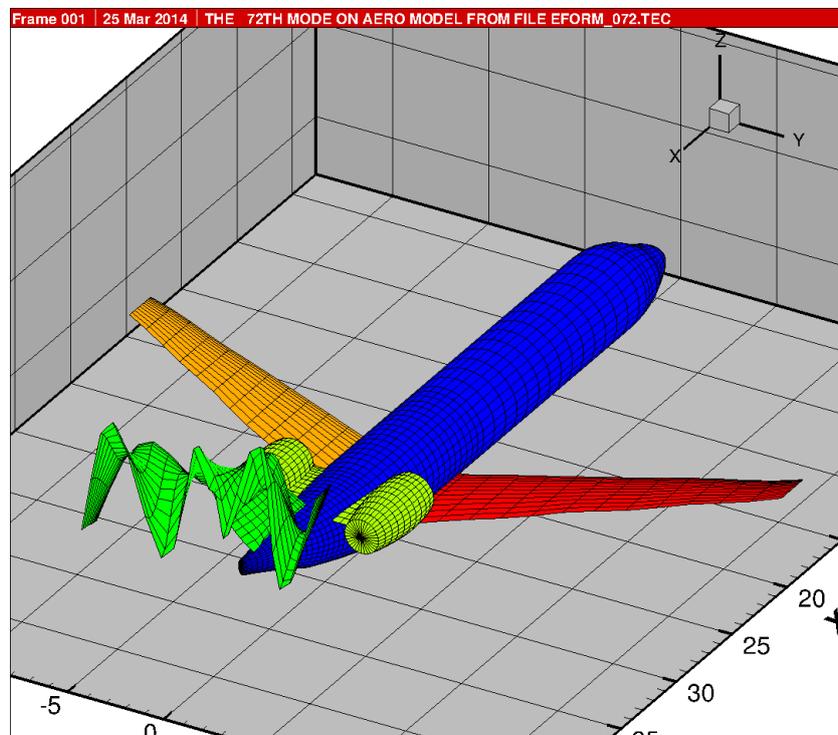


Abbildung 97: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 72. Eigenform, $f = 6.729123E+01$ [Hz]

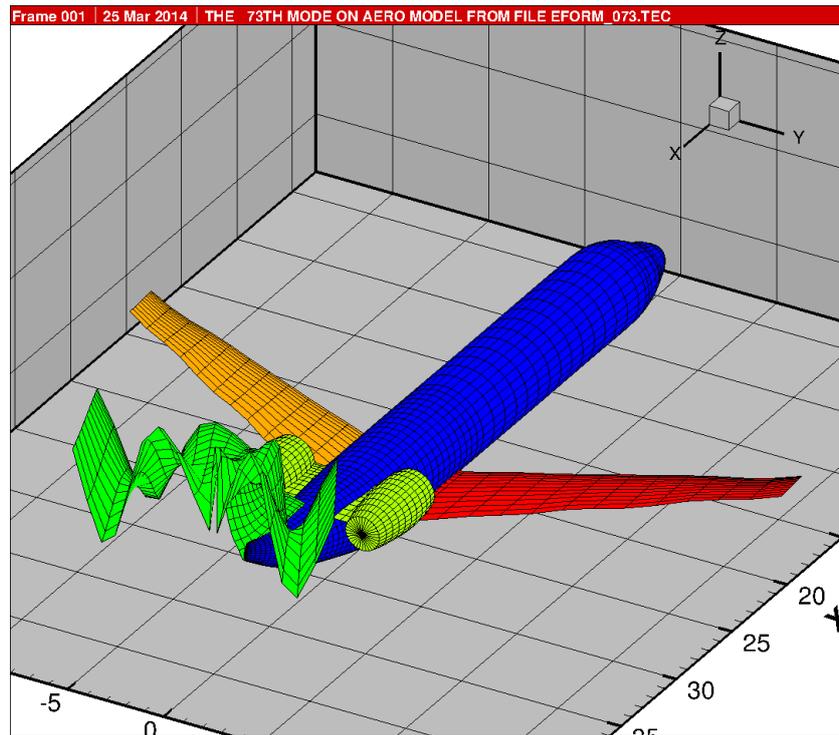


Abbildung 98: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 73. Eigenform, $f = 6.970203E+01$ [Hz]

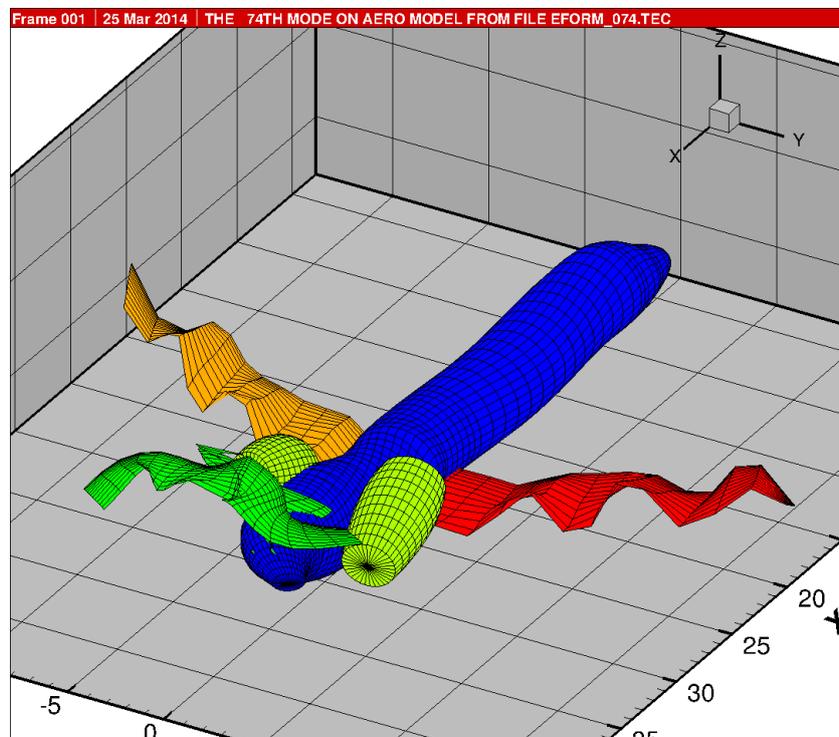


Abbildung 99: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 74. Eigenform, $f = 7.102251E+01$ [Hz]

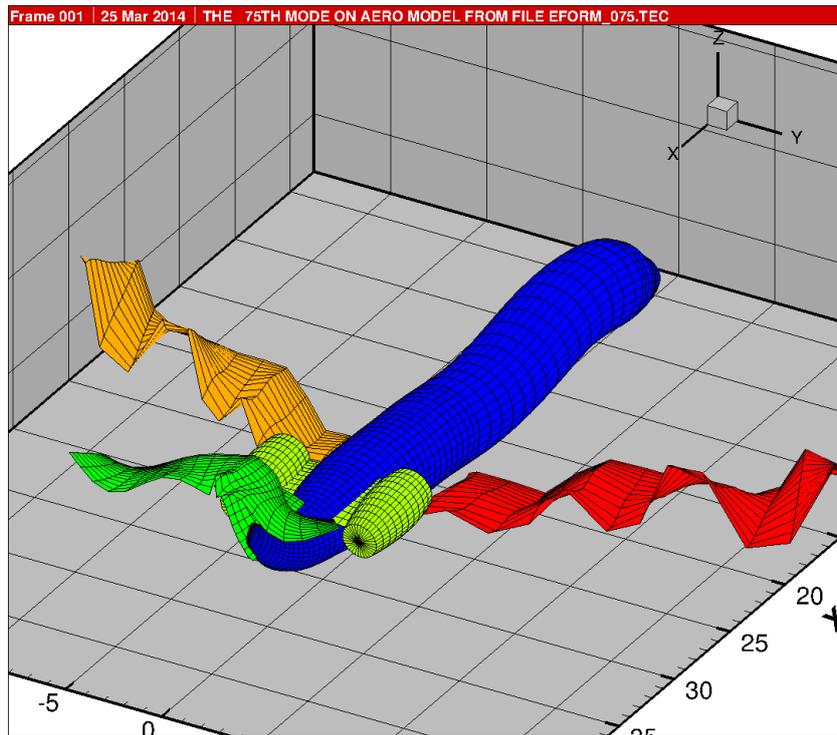


Abbildung 100: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 75. Eigenform, $f = 7.155745E+01$ [Hz]

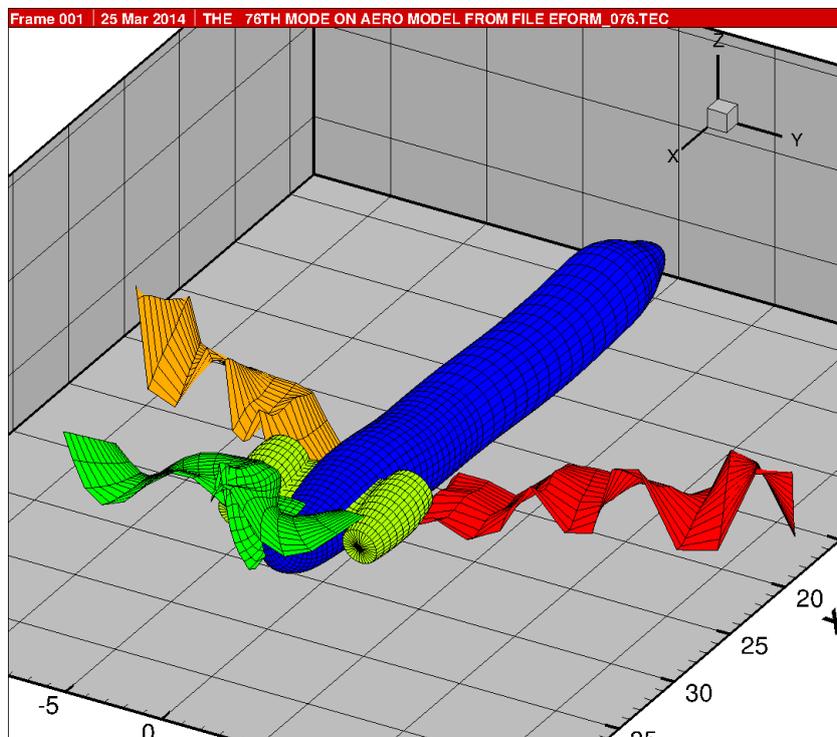


Abbildung 101: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 76. Eigenform, $f = 7.285429E+01$ [Hz]

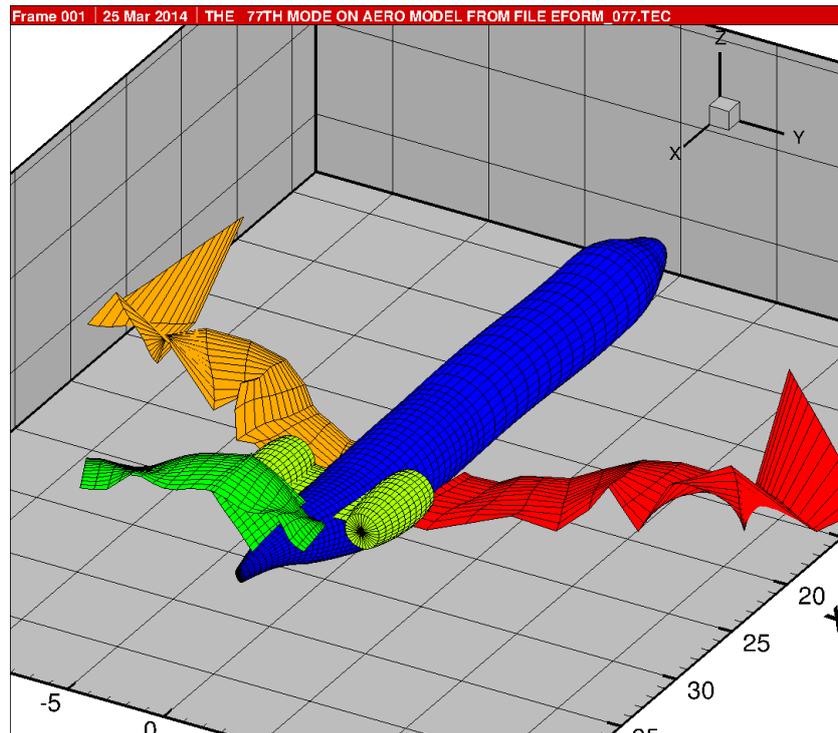


Abbildung 102: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 77. Eigenform, $f = 7.563373E+01$ [Hz]

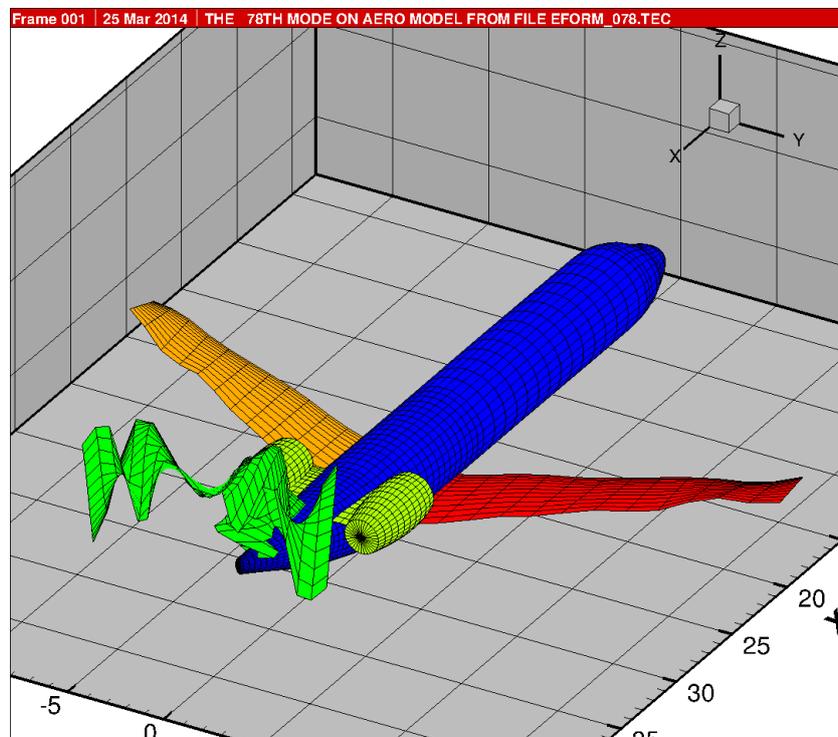


Abbildung 103: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 78. Eigenform, $f = 7.577225E+01$ [Hz]

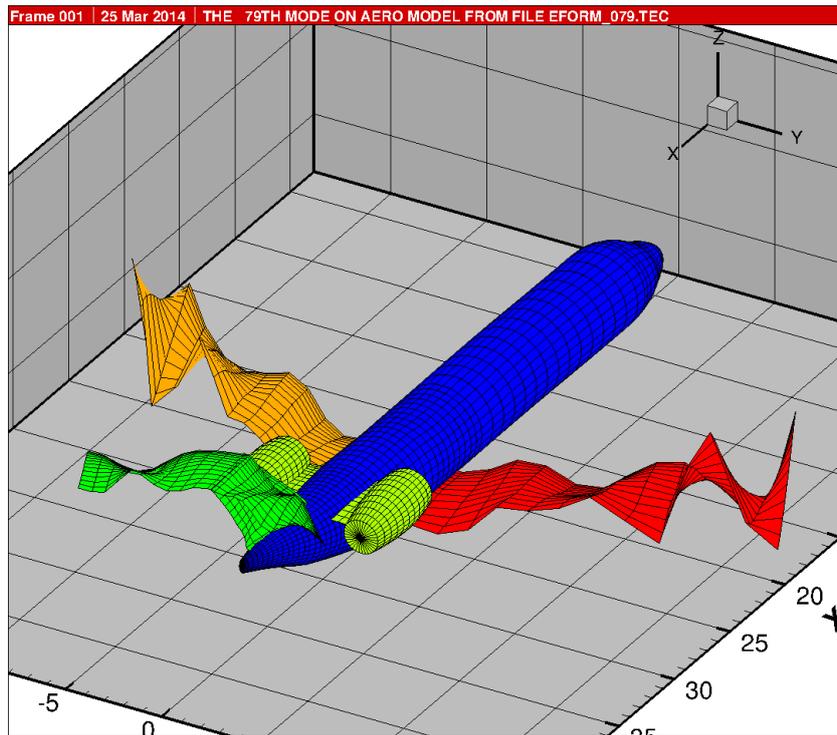


Abbildung 104: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 79. Eigenform, $f = 7.642355E+01$ [Hz]

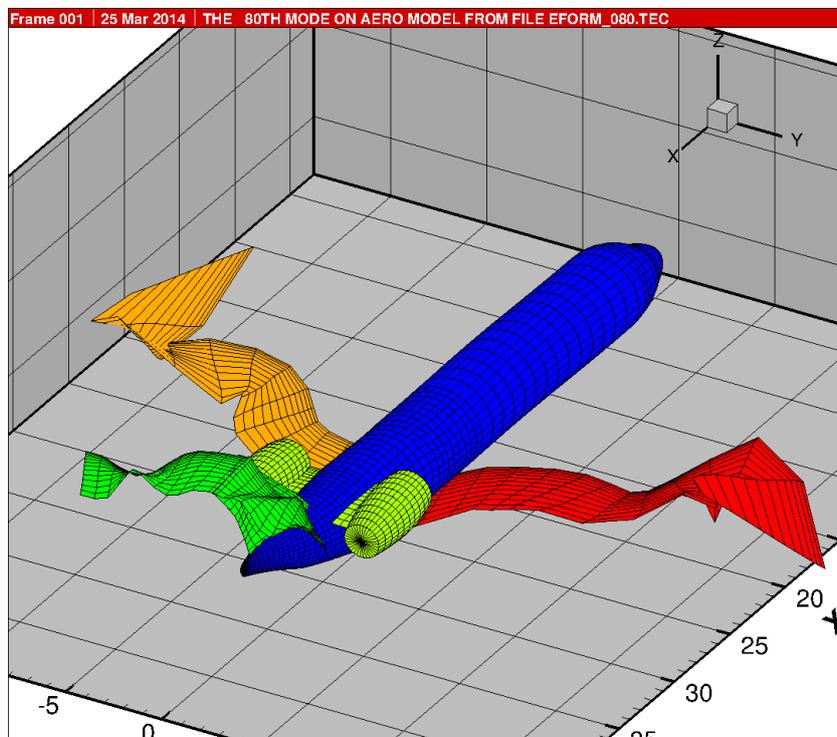


Abbildung 105: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 80. Eigenform, $f = 7.673203E+01$ [Hz]

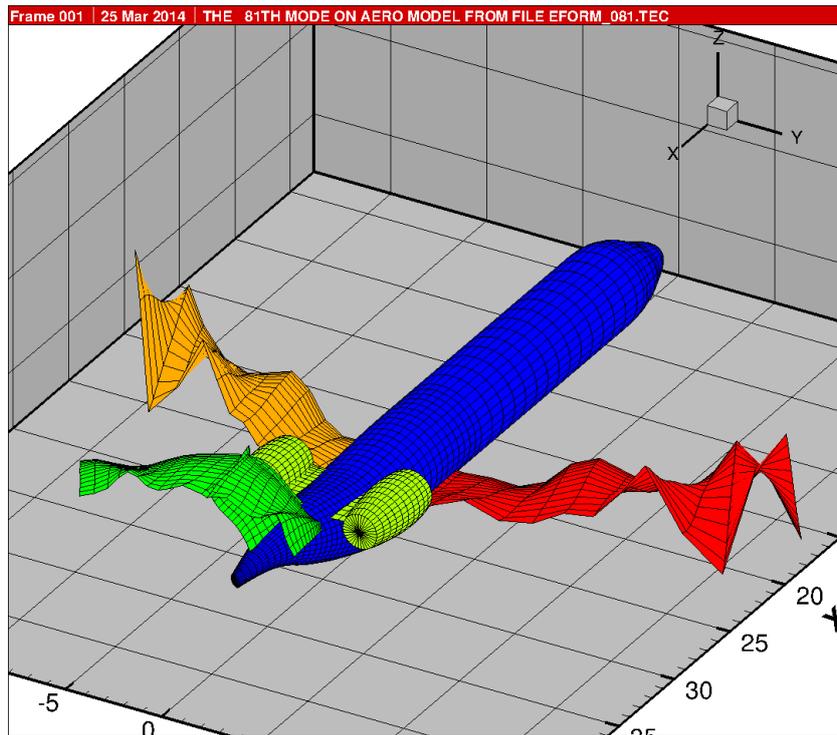


Abbildung 106: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 81. Eigenform, $f = 7.691322E+01$ [Hz]

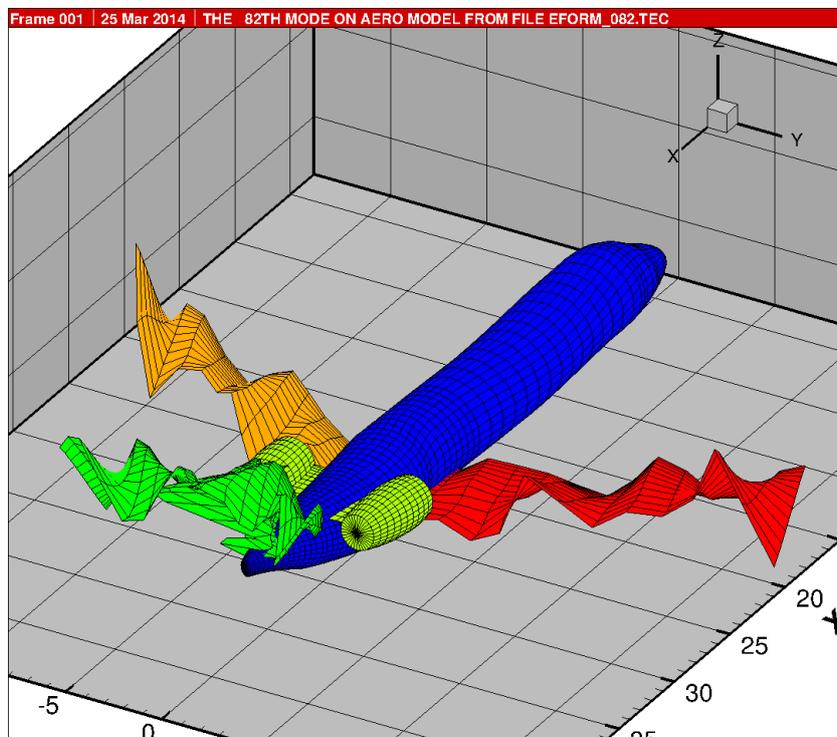


Abbildung 107: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 82. Eigenform, $f = 7.944194E+01$ [Hz]

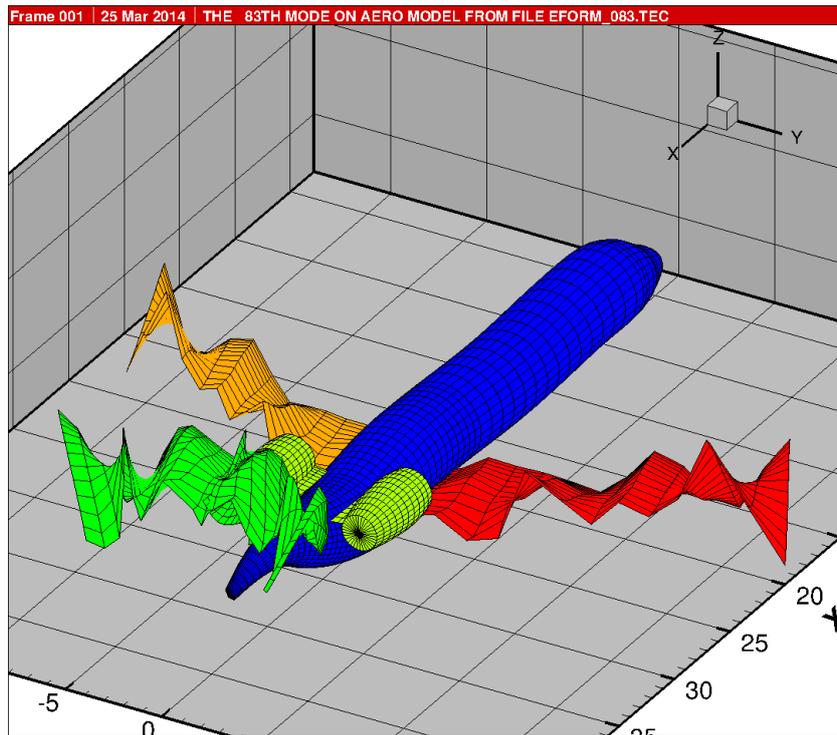


Abbildung 108: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 83. Eigenform, $f = 7.989196E+01$ [Hz]

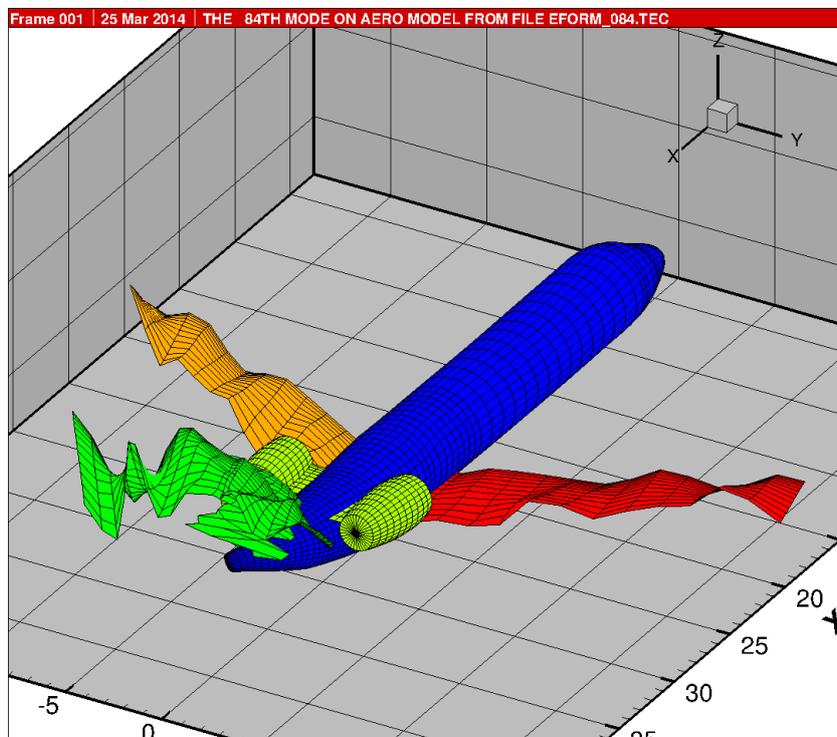


Abbildung 109: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 84. Eigenform, $f = 8.058642E+01$ [Hz]

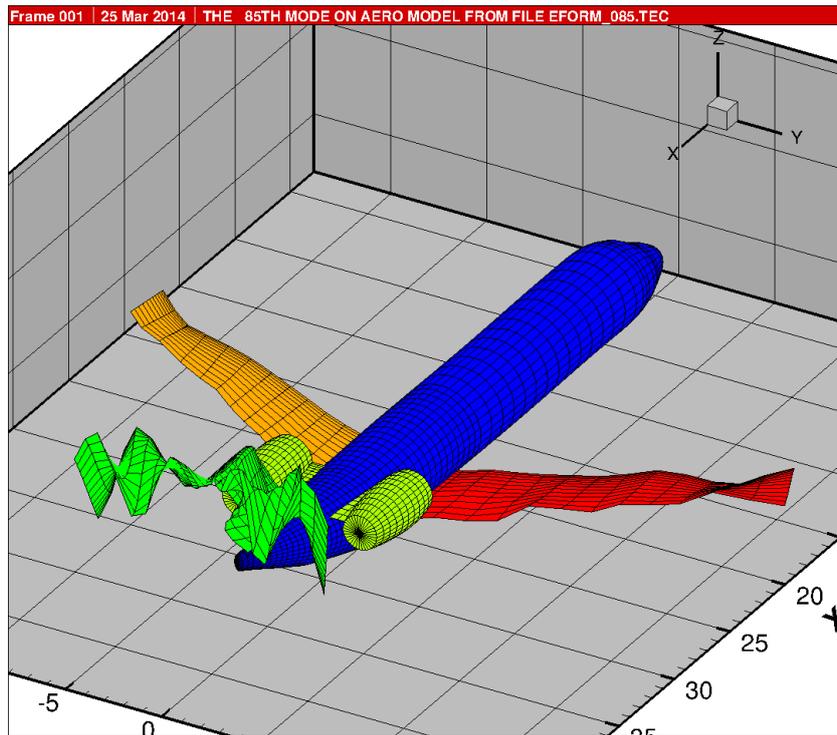


Abbildung 110: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 85. Eigenform, $f = 8.065354E+01$ [Hz]

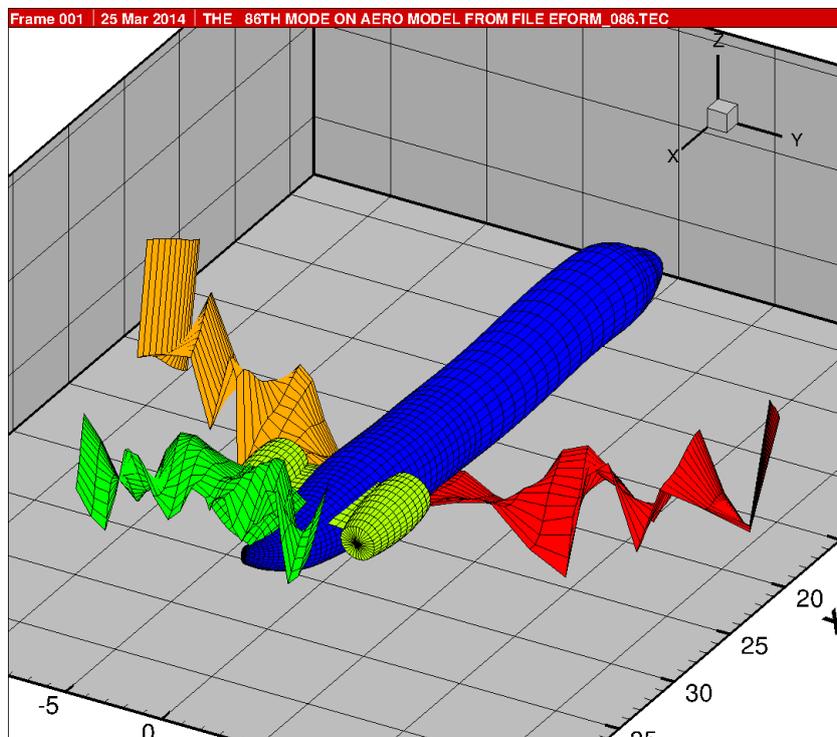


Abbildung 111: ALLEGRA-S, Konfiguration c01: 86. Eigenform, $f = 8.249264E+01$ [Hz]

6 Zusammenfassung

Dieser Bericht behandelt die aeroelastischen Stabilitätsuntersuchungen an der ALLEGRA-Flugzeugkonfiguration in der Entwurfsversion „S“. Er beschreibt den Aufbau des Simulationsmodells aus einem FEM-Strukturteil (NASTRAN) und einem DLM-Aerodynamikteil (ZAERO), umreißt den Lösungsgang des Flutterlösers innerhalb von ZAERO und enthält die Ergebnisse der Flutteranalyse für zwei ausgesuchte Beladungszustände (c01 und c09) für jeweils zwei Flughöhen (5400 und 11000 [m]). Diese Untersuchung hatte zum einen den Nachweis der Flattersicherheit der ALLEGRA-Konfiguration innerhalb der Flugenveloppe zum Ziel. Wie die Werte der Flattergeschwindigkeiten in Tabelle 26 zeigen, liegen die kritischen Geschwindigkeiten (der niedrigsten instabilen Fälle) deutlich über den Werten der Entwurfsgeschwindigkeit v_D für die jeweilige Flughöhe. Die zugehörigen Flutterformen sind die symmetrischen oder antimetrischen Höhenleitwerksschwingungen mit Frequenzen zwischen 12 und 17 [Hz]. Diese Formen bestehen aus (nahezu) örtlich begrenzten Bewegungen der HLW-Flosse.

H	$v_{krit}(C01)$	$v_{krit}(C09)$	$1,15 * v_D$
[m]	[m/sec] EAS (TAS)	[m/sec] EAS (TAS)	[m/sec] EAS (TAS)
5400	276. (364.)	275. (363.)	233. (307.)
11000	250. (459.)	219. (402.)	172. (316.)

Tabelle 26: Die kritischen Fluggeschwindigkeiten der beiden ALLEGRA-S-Massenkonfigurationen C01 und C09 im Vergleich mit $1,15 * v_D$

Zum anderen lassen sich durch die Ausweitung des untersuchten Geschwindigkeitsbereiches und das Auffinden instabiler Zustände auch bei höheren Fluggeschwindigkeiten Erkenntnisse über das aeroelastische dynamische Stabilitätsverhalten dieser Konfiguration, das im Falle von z.B. geringen Strukturveränderungen dann dimensionierend werden kann, gewinnen. Eine qualitative Betrachtung der Flutterformen erlaubte eine Klassifizierung der Flutterzustände in drei Gruppen: 1. Die klassischen, durch eine starke Flügelverformung geprägten Eigenformen des Gesamtflugzeuges, 2. Flutterformen, die ebenfalls das gesamte Flugzeug umfassen, bei denen aber die Leitwerksbewegung die dominanten Komponenten liefert (und die nur antimetrisch auftreten), und 3. die örtlich begrenzten Schwingungen der Höhenleitwerksflosse. Als Ergebnisse der aeroelastischen Eigenwertanalysen werden mit den Flatterfrequenzen, den Flutterformen und den jeweiligen kritischen Geschwindigkeiten die wesentlichen Kennzahlen der Flutterfälle präsentiert. Durch Erfassung des Einflusses des Triebwerksschubes und der Gyroskopie des Triebwerksrotors wurden Erweiterungen höherer Ordnung an dem Basis-Simulationsmodell vorgenommen. Durch zusätzliche Kopplung der Bewegungskomponenten der Triebwerksgondeln erhöhen sie den Phasenversatz zwischen den Freiheitsgraden und brechen die Symmetrieeigenschaften der Flugzeugstruktur (asymmetrische Verformungen). Die Auswirkungen dieser linearen Modellerweiterungen der Triebwerke unter Betriebsbedingungen auf die Flutterzustände wurden untersucht. An der vorliegenden Konfiguration (TW-Gondeln mit achterlicher und steifer Rumpfanbindung) fallen, mit Ausnahme einer niederfrequenten Starrkörperbewegung, die quantitativen Änderungen der Flattergrößen gering aus.

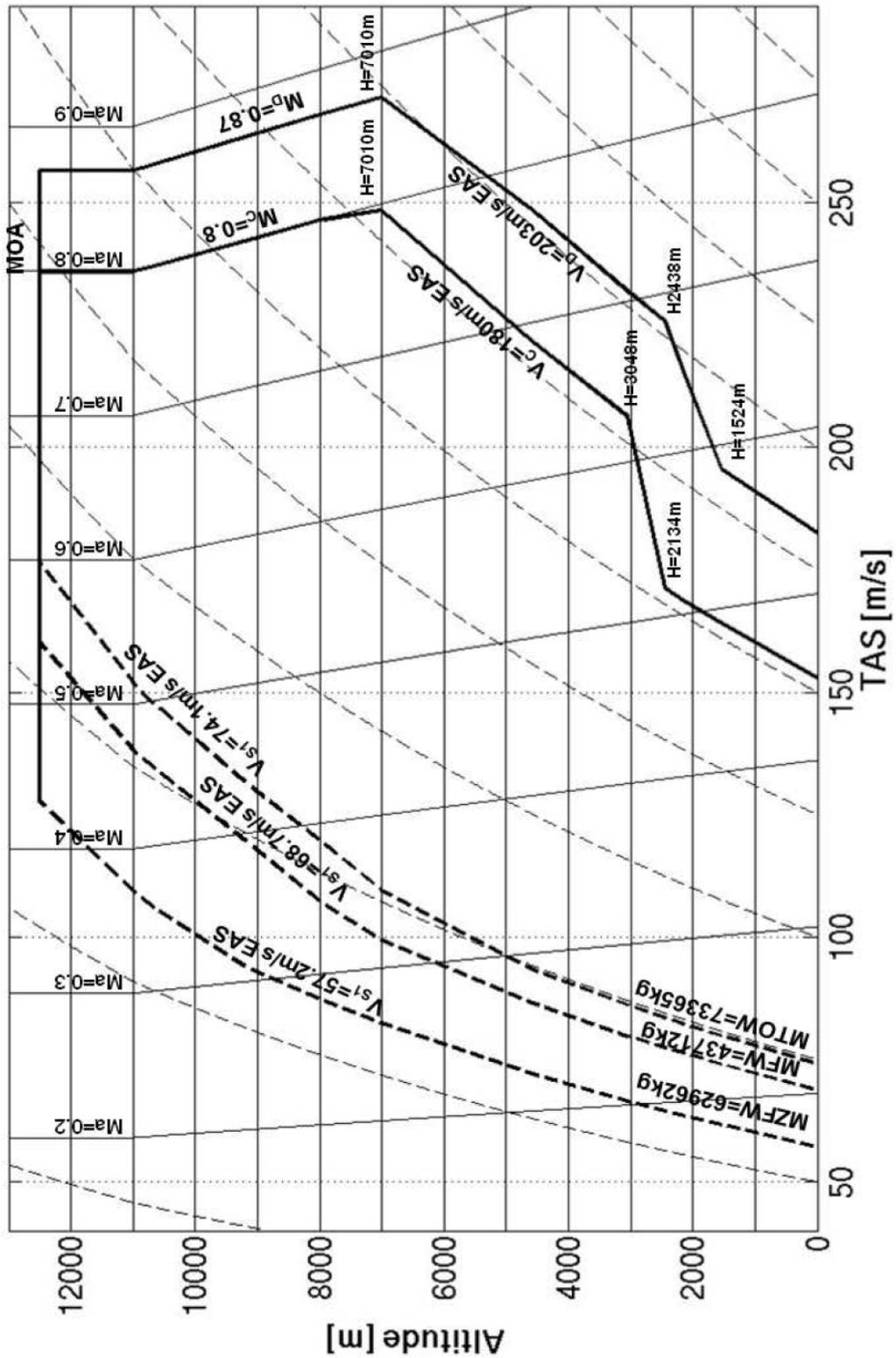


Abbildung 112: Die Flug envelope der ALLEGRA-Konfiguration (Version S) mit den Design-Geschwindigkeiten

Literatur

- [1] SCANLAN, R.H.; TRUMAN, J.C.: *The gyroscopic effect of a rigid rotating propeller on engine and wing vibration modes*. J. Aero. Sci. 17: 653-9, 667, 1950.
- [2] SAVET, P.H.: *Gyroscopes: Theory and Design*. McGraw-Hill, New York, 1961.
- [3] DEGENER, M.: *Standschwingungsversuche am Flugzeug ATD*. DLR, Institut für Aeroelastik, Göttingen, IB 232 - 98 C 05, Juli 1998.
- [4] FA. MSC SOFTWARE: *NASTRAN Quick Reference Guide and Reference Manual*. Vers. MSC.Nastran 2006, München und Santa Ana, USA, 2006.
- [5] FA. INTEC GMBH/SIMPACK AG: *SIMPACK Reference Guide and SIMDOC Manuals*. Vers. 8903 (8903b), München, 6. Dez. 2009
- [6] RODDEN, WILLIAM P.: *Theoretical and Computational Aeroelasticity*. Crest Publishing, 1st Edition, 2011.
- [7] WUNDERLICH, T.: *LamAiR – Laminar Aircraft Research UAP 1.11.2 – Flugzeugvorentwurf*. Projektbericht DLR-Projekt LamAiR, 2011.
- [8] VOSS, RALPH, ET AL.: *DLR Project iGreen, Final report*. DLR, Institut für Aeroelastik, Göttingen, Februar 2012.
- [9] SCHMIDT, HAUKE; KLIMMEK, THOMAS: *ALLEGRA Design Airspeeds and Preliminary Loads*. IB 232-2012 J 07, DLR, Institut für Aeroelastik, Göttingen, 2012.
- [10] WAITZ, STEFAN: *MBS Analysis of a Free Flying Helicopter with Fully Articulated Rotor*. Proc. European Rotorcraft Forum ERF2014, Southampton, 2014.
- [11] KRÜGER, W. R.; KLIMMEK, T.; LIEPELT, R.; SCHMIDT, H.; WAITZ, ST.; CUMNUANTIP, S.: *Design and aeroelastic assessment of a forward-swept wing aircraft*. CEAS Aeronautical Journal: Volume 5, Issue 4 (2014), Page 419-433, 2014.
- [12] WAITZ, STEFAN; HENNINGS, HOLGER: *The Aeroelastic Impact of Engine Thrust and Gyroscopics on Aircraft Flutter Instabilities*. 16. Intl. Forum on Aeroelasticity and Structural Dynamics 2015, St. Petersburg, 2015.