

ILS Tower Design from a Static and Frangibility Perspective

Europoles GmbH & Co KG, Germany
Helmut Lieb, R&D

Overview

1. **History**
 - a) Wood panels pole
 - b) Tapered and anti-tapered
 - c) Export version, cylindrical without resin in the joint
2. **Material investigation in fiber glass**
 - a) Fiber glass bending and shear tests – IMA Dresden (institute for material research and application technology)
 - b) Bolt capacity in fiber glass
 - c) Influence of UV on fiber glass – UV loaded fiber glass in comparison to non UV loaded fiber glass
 - d) Influence of temperature on fiber glass together with wind
 - e) Material behavior in respect of damping – resonance on wind gusts and further frequencies
 - f) National American Meteorological Service
 - g) Loadcase: temperature, wind
 - h) Design
3. **References**
 - a) Guam
 - b) Japan
 - c) Schwäbisch Hall
4. **Accidents**
 - a) Movie
 - b) Pictures
5. **Frangibility**
 - a) Report NLR
 - b) Tests Concept Graz
 - c) Tests V2V2, Graz
 - d) Tests SES
6. **Frangibility design ideas**
7. **Final Design**

HISTORY

HISTORY – wood panels pole



HISTORY – Tapered and Anti-tapered - Guam



GUAM **Nr.:1225928**

carbon fiberglass composite

carbon type S15GU990 b = 1200 mm Σ 172 m²

fiberglass type S15EU990 b = 1000 mm Σ 216 m²

UV-protection for more than 25 years

according statement of Dr. Wiggenraad
NLR, National Aerospace Laboratory

max. horizontal difference deflection of top- and
bottom-antenna < 5cm at 60 miles/h operational
wind speed.

max. torsion of top antenna
at operational windspeed

< 2 degree

60 mph

max wind speed Guam

240 mph

Aluminum crossbars for stiffness and antenna supports AlMgSi0.5

stainless steel screws and galvanized base plates

the glide slope tower should stay in working order under additional
loads as

- ice load up to 30 mm thickness

- hail grain up to \varnothing 13 mm

- rainfall up to 100 mm/h

C 20/25 reinforcement and anchor bolts (10.9) pored in site

HISTORY - Export Version, cylindrical without resin in the joint



MATERIAL INVESTIGATION IN FIBER GLASS

Fiber Glass Bending and Shear Tests – IMA Dresden (Institute for material research and application technology)

Prüfbericht

Materialprüfungen an GFK-Masten

Prüfbericht-Nr.: B001/08.2A



Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	6
2	Durchführung	7
2.1	Anlieferungszustand (*)	7
2.2	Probenzuschnitt und Probenpräparation	8
2.3	Lagerung	8
3	Versuchsdurchführung	13
3.1	Zugprüfung nach DIN EN ISO 527-4 bei Normklimabedingungen	13
3.2	Zugprüfung nach DIN EN ISO 527-4 bei Temperatur	13
3.3	Druckprüfung nach DIN EN ISO 14126	14
3.4	Bestimmung Fasergehalt nach DIN EN ISO 1172	14
3.5	Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125	15
3.6	ILSS-Prüfung nach DIN EN ISO 14130	15
3.7	Bestimmung Bolzentragfähigkeit nach DIN EN 13706-1	16
3.8	Scheiteldruckprüfung nach DIN 53769	16
3.9	UV-Prüfung nach DIN EN ISO 4892-3	17
3.10	Biegekriechprüfung nach DIN EN ISO 899-2	17
3.11	Zeitstand-Bruchprüfung unter Biegebelastung	18
3.12	Dynamische Zugprüfung	19
4	Auswertung	20
4.1	Auswertung Druckprüfung DIN EN ISO 14126	20
4.2	Auswertung Zeitstand-Bruchprüfung	21
4.3	Kennwertbestimmung Bauteillaminat	23
4.4	Kennwertbestimmung Vergleichslaminat	27
5	Abminderungsfaktoren	52
5.1	Abminderungsfaktor für Langzeitbelastung	52
5.2	Abminderungsfaktor für Medienbelastung	52
5.3	Abminderungsfaktor für Temperaturbelastung	53
6	Zusammenfassung mechanische Kennwerte	53

(*) Die Angaben im Kapitel Anlieferungszustand bezüglich der Herstellung des Probenmaterials, gekennzeichnet mit (*), wurden durch den Auftraggeber gemacht und unterliegen nicht der Prüfung durch die IMA Dresden.

3.5 Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125

3.5.1 Prüfeinrichtung

- TIRAtest 2300, rechnergekoppelt, Genauigkeitsklasse 1 nach DIN 51221, Kraftmessdose 10 kN, Inventar-Nr.: 8004266
- Biegebalken, 3-Punkt Biegung

3.5.2 Prüfbedingungen

- Gesamtprobenzahl: 6
- Prüfgeschwindigkeit: $v = 2 \text{ mm / min (1 \% / min)}$
- Stützweite: $h_{\text{mittel}} \times 16 \pm 1 \text{ mm}$
- Radius Druckfinne: $5 \pm 0,2 \text{ mm}$
- Radius Auflager: $5 \pm 0,2 \text{ mm}$ für Probendicken $a > 3 \text{ mm}$
- Probengeometrie: $(20 \times a) \times 15 \times a \text{ [mm]}$
- Dehnungsmessung über Wegaufnehmer
- Prüfung bei Normklima 23/50 ($23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, $50 \pm 5 \text{ \% rel. Luftfeuchte}$) nach DIN 50014-23/50-2

3.5.3 Versuchsdurchführung

- 3 Messungen von Breite, Länge und Dicke mit $\pm 0,01 \text{ mm}$ Messgenauigkeit, Berechnung der Stützweite gemäß Prüfnorm
- Berechnung der Prüfgeschwindigkeit mit $v = \frac{0,01 \cdot L^2}{6 \cdot a}$
- Bestimmung Kraft-Dehnungsverlauf, E-Modul zwischen $\epsilon'_B = 0,05 \text{ \%}$ und $\epsilon''_B = 0,25 \text{ \%}$, Festigkeit, Bruchdehnung

Fiber Glass Bending and Shear Tests – IMA Dresden (Institute for material research and application technology)

4.4.5 Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125

Tabelle 49: Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125, Prüfrichtung = Mastlängsrichtung, Laminat 1.2

Proben-Nr.	a [mm]	b [mm]	L [mm]	F [N]	σ_F [MPa]	E_F [GPa]	ϵ [%]	M_0/b [N]
B001/08-1-2-BP1	3,83	14,94	61,0	1142	476,9	16,426	2,87	0,304
B001/08-1-2-BP2	3,76	14,96		1199	518,6	17,666	2,95	0,325
B001/08-1-2-BP3	3,79	14,91		1162	496,3	17,072	2,88	0,314
B001/08-1-2-BP4	3,83	14,94		1200	501,0	17,017	2,86	0,320
B001/08-1-2-BP5	3,87	14,93		1162	475,5	16,407	2,76	0,307
B001/08-1-2-BP6	3,93	14,96		1260	499,1	16,435	2,91	0,327
Mittelwert:				494,6	16,837	2,87	0,316	
Standardabweichung:				16,2	0,508	0,1	0,009	
Variationskoeffizient:				3,3%	3,0%	2,1%	3,0%	
Max:				518,6	17,666	2,95	0,327	
Min:				475,5	16,407	2,76	0,304	
$R_{k0,05}$:				456,6	15,648	2,73	0,294	

Tabelle 50: Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125, Prüfrichtung = Mastquerrichtung, Laminat 1.2

Proben-Nr.	a [mm]	b [mm]	L [mm]	F [N]	σ_F [MPa]	E_F [GPa]	ϵ [%]	M_0 [N]
B001/08-1-2-BS1	3,76	14,97	59,0	209	87,4	7,826	1,98	0,055
B001/08-1-2-BS2	3,72	14,92		226	97,0	7,912	2,22	0,060
B001/08-1-2-BS3	3,67	14,99		210	91,8	8,044	2,06	0,056
B001/08-1-2-BS4	3,64	14,97		191	85,2	7,965	1,73	0,052
B001/08-1-2-BS5	3,61	14,87		213	97,2	8,201	2,14	0,059
B001/08-1-2-BS6	3,56	14,99		232	108,2	8,519	2,15	0,064
Mittelwert:				94,5	8,078	2,05	0,058	
Standardabweichung:				8,3	0,251	0,2	0,004	
Variationskoeffizient:				8,8%	3,1%	8,5%	7,5%	
Max:				108,2	8,519	2,22	0,064	
Min:				85,2	7,826	1,73	0,052	
$R_{k0,05}$:				75,0	7,491	1,64	0,047	

Bolt Capacity in Fiber Glass

Prüfbericht

Materialprüfungen an GFK-Masten

Prüfbericht-Nr.: B001/08.2A



Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	6
2	Durchführung	7
2.1	Anlieferungszustand (*)	7
2.2	Probenzuschnitt und Probenpräparation	8
2.3	Lagerung	8
3	Versuchsdurchführung	13
3.1	Zugprüfung nach DIN EN ISO 527-4 bei Normklimabedingungen	13
3.2	Zugprüfung nach DIN EN ISO 527-4 bei Temperatur	13
3.3	Druckprüfung nach DIN EN ISO 14126	14
3.4	Bestimmung Fasergehalt nach DIN EN ISO 1172	14
3.5	Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125	15
3.6	ILSS-Prüfung nach DIN EN ISO 14130	15
3.7	Bestimmung Bolzentragfähigkeit nach DIN EN 13706-1	16
3.8	Scheiteldruckprüfung nach DIN 53769	16
3.9	UV-Prüfung nach DIN EN ISO 4892-3	17
3.10	Biegekrechprüfung nach DIN EN ISO 899-2	17
3.11	Zeitstand-Bruchprüfung unter Biegebelastung	18
3.12	Dynamische Zugprüfung	19
4	Auswertung	20
4.1	Auswertung Druckprüfung DIN EN ISO 14126	20
4.2	Auswertung Zeitstand-Bruchprüfung	21
4.3	Kennwertbestimmung Bauteillaminat	23
4.4	Kennwertbestimmung Vergleichslaminat	27
5	Abminderungsfaktoren	52
5.1	Abminderungsfaktor für Langzeitbelastung	52
5.2	Abminderungsfaktor für Medienbelastung	52
5.3	Abminderungsfaktor für Temperaturbelastung	53
6	Zusammenfassung mechanische Kennwerte	53

(*) Die Angaben im Kapitel Anlieferungszustand bezüglich der Herstellung des Probenmaterials, gekennzeichnet mit (*), wurden durch den Auftraggeber gemacht und unterliegen nicht der Prüfung durch die IMA Dresden.

3.7 Bestimmung Bolzentragfähigkeit nach DIN EN 13706-1

3.7.1 Prüfeinrichtung

- TIRAtest 2300, rechnergekoppelt, Genauigkeitsklasse 1 nach DIN 51221, Kraftmessdose 100 kN für Prüfungen bei Raumtemperatur, Inventar-Nr.: 8004266
- Hydraulische Klemmbacken

3.7.2 Prüfbedingungen

- Gesamtprobenzahl: 6
- Prüfgeschwindigkeit: 5 mm / min Prüfrichtung
- Probentyp: 100 x 180 x a [mm]
- Bohrungsdurchmesser: 13 mm
- Randabstand: 50 mm
- Prüfung bei Normklima 23/50 (23 ± 2 °C, 50 ± 5 % rel. Luftfeuchte) nach DIN 50014-23/50-2

Bolt Capacity in Fiber Glass

4.3 Bestimmung Bolzentragfähigkeit nach DIN EN 13706-2

Tabelle 6: Bolzentragfähigkeit Prüfsérie Gewebe

Proben-Nr.	a [mm]	D [mm]	F _m [N]	σ _m [MPa]
B325/09-G-BZ-1	3,02	12,47	3907	103,6
B325/09-G-BZ-2	2,70	12,44	3056	90,9
B325/09-G-BZ-3	2,55	12,41	4218	133,4
Mittelwert:				109,3
Standardabweichung:				21,8
Variationskoeffizient:				20,0%
Max:				133,4
Min:				90,9
R(5%,95%,v,n):				52,6

Tabelle 7: Bolzentragfähigkeit Prüfsérie Gewebe

Proben-Nr.	a [mm]	D [mm]	F _m [N]	σ _m [MPa]
B325/09-G-BZ-4	3,47	27,03	7702	82,1
B325/09-G-BZ-5	3,21	27,01	7754	89,5
B325/09-G-BZ-6	2,21	27,04	5812	97,1
Mittelwert:				89,6
Standardabweichung:				7,5
Variationskoeffizient:				8,4%
Max:				97,1
Min:				82,1
R(5%,95%,v,n):				70,1

4.4.7 Bestimmung Bolzentragfähigkeit nach DIN EN 13706-1

Tabelle 58: Bestimmung Bolzentragfähigkeit nach DIN EN 13706-1, Prüfrichtung = Mastlängsrichtung, Laminat: 5.3/5.4

Proben-Nr.	a [mm]	d [mm]	F _m [N]	σ _p [MPa]
B001/08-5.3-BZP1	7,60	13,05	26416	266,3
B001/08-5.3-BZP2	7,73	13,05	30319	300,6
B001/08-5.3-BZP3	7,74	12,99	27807	276,6
B001/08-5.4-BZP4	8,04	13,01	28467	272,2
B001/08-5.4-BZP5	8,31	13,06	29487	271,7
B001/08-5.4-BZP6	7,78	13,05	29248	288,1
Mittelwert:				279,2
Standardabweichung:				12,8
Variationskoeffizient:				4,6%
Max:				300,6
Min:				266,3
R _{0,05} :				249,4

Bolt Capacity in Fiber Glass

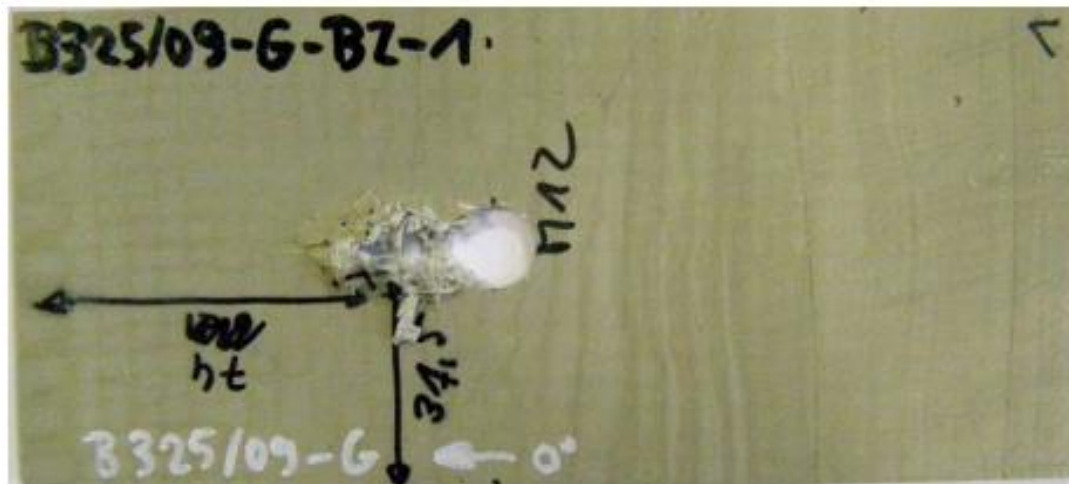


Abbildung 7: Bolzentragfähigkeit Prüfsérie Gewebe

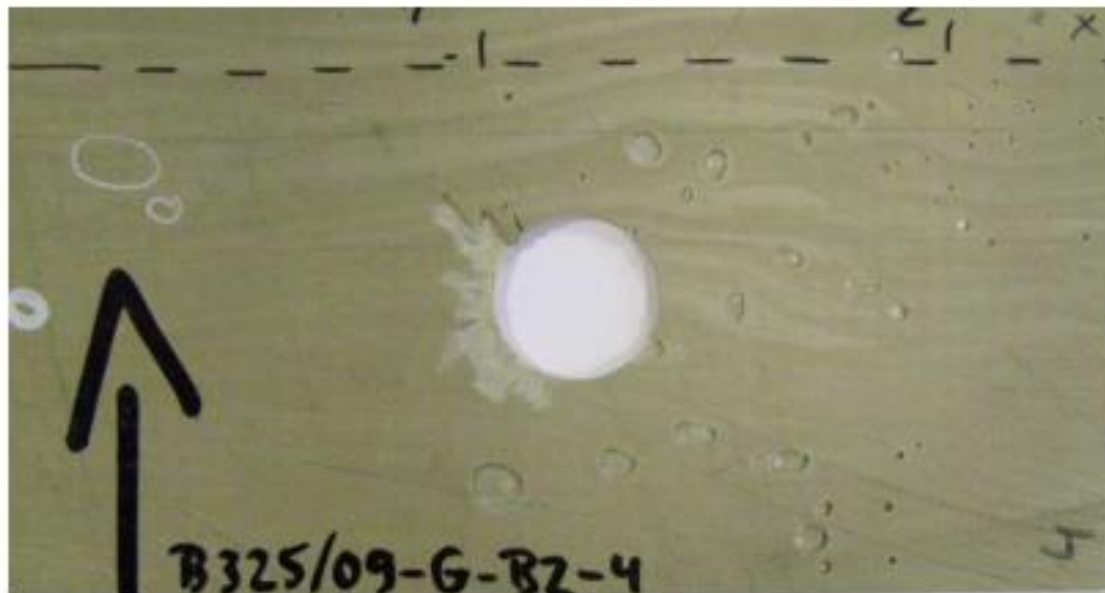


Abbildung 8: Bolzentragfähigkeit Prüfsérie Gewebe

Influence UV on Fiber Glass – UV loaded fiber glass in comparison to non UV loaded fiber glass

Prüfbericht

Materialprüfungen an GFK-Masten

Prüfbericht-Nr.: B001/08.2A



Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	6
2	Durchführung	7
2.1	Anlieferungszustand (*)	7
2.2	Probenzuschnitt und Probenpräparation	8
2.3	Lagerung	8
3	Versuchsdurchführung	13
3.1	Zugprüfung nach DIN EN ISO 527-4 bei Normklimabedingungen	13
3.2	Zugprüfung nach DIN EN ISO 527-4 bei Temperatur	13
3.3	Druckprüfung nach DIN EN ISO 14126	14
3.4	Bestimmung Fasergehalt nach DIN EN ISO 1172	14
3.5	Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125	15
3.6	ILSS-Prüfung nach DIN EN ISO 14130	15
3.7	Bestimmung Bolzentragfähigkeit nach DIN EN 13706-1	16
3.8	Scheiteldruckprüfung nach DIN 53769	16
3.9	UV-Prüfung nach DIN EN ISO 4892-3	17
3.10	Biegekiechprüfung nach DIN EN ISO 899-2	17
3.11	Zeitstand-Bruchprüfung unter Biegebelastung	18
3.12	Dynamische Zugprüfung	19
4	Auswertung	20
4.1	Auswertung Druckprüfung DIN EN ISO 14126	20
4.2	Auswertung Zeitstand-Bruchprüfung	21
4.3	Kennwertbestimmung Bauteillaminat	23
4.4	Kennwertbestimmung Vergleichslaminat	27
5	Abminderungsfaktoren	52
5.1	Abminderungsfaktor für Langzeitbelastung	52
5.2	Abminderungsfaktor für Medienbelastung	52
5.3	Abminderungsfaktor für Temperaturbelastung	53
6	Zusammenfassung mechanische Kennwerte	53

(*) Die Angaben im Kapitel Anlieferungszustand bezüglich der Herstellung des Probenmaterials, gekennzeichnet mit (*), wurden durch den Auftraggeber gemacht und unterliegen nicht der Prüfung durch die IMA Dresden.

3.9 UV-Prüfung nach DIN EN ISO 4892-3

3.9.1 Prüfeinrichtung

- Prüfungsdurchführung am Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH
- Akkreditiertes Prüflabor für Korrosion, Korrosionsschutz und Korrosionsanalytik
- DAR-Akkreditierungsnummer: DAP-PL-1131.00

3.9.2 Prüfbedingungen

- Gesamtprobenzahl: 4
- Belastungsdauer: 1000 h
- Probengeometrie: 150 x 100 [mm]
- Normklima 23/50 (23 ± 2 °C, 50 ± 5 % rel. Luftfeuchte) nach DIN 50014-23/50-2

3.9.3 Versuchsdurchführung

- Kontinuierliche UV-A-Strahlung (340 nm) und Kondensation (1 Zyklus: 8 h UV-A (340 nm) bei 60 °C und 4 h Kondensation bei 50 °C)
- Bestimmung der Farbdifferenzen und des Glanzvermögens nach jeweils 250 h Belastung

Influence UV on Fiber Glass – UV loaded fiber glass in comparison to non UV loaded fiber glass

4.4.8 UV-Prüfung nach DIN EN ISO 4892-3

Die bewitterten Seiten der Proben zeigten jeweils erst nach 1000 h Belastung durch UV-A-Strahlung und periodische Kondensation eine geringe Farbdifferenz im Vergleich zum Ausgangswert. Der Prüfbericht mit den gemessenen Einzelwerten ist diesem Prüfbericht angehängt.

Influence UV on Fiber Glass – UV loaded fiber glass in comparison to non UV loaded fiber glass

Prüfbericht

GFK-Materialprüfungen

Prüfbericht-Nr.: B325/09A



Inhalt

1	Aufgabenstellung	6
2	Durchführung	6
2.1	Anlieferungszustand	6
2.1.1	Probenmaterial (*)	6
2.1.2	Herstellung Vergleichslamine (*)	7
2.2	Probenzuschnitt und Probenpräparation	7
2.3	Probenkennzeichnung	7
2.4	Lagerung	7
3	Versuchsaufbau und Durchführung	8
3.1	Zugprüfung nach DIN EN ISO 527-4 bei Normklimabedingungen	8
3.1.1	Personal	8
3.1.2	Prüfeinrichtung	8
3.1.3	Prüfbedingungen	8
3.1.4	Versuchsdurchführung	8
3.2	Bestimmung Bolzentragfähigkeit nach DIN EN 13706	8
3.2.1	Personal	8
3.2.2	Prüfeinrichtung	8
3.2.3	Prüfbedingungen	8
3.2.4	Versuchsdurchführung	9
3.3	Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125 an UV-bestrahlten Laminatstücken	9
3.3.1	Personal	9
3.3.2	Prüfeinrichtung	9
3.3.3	Prüfbedingungen	9
3.3.4	Versuchsdurchführung	9
4	Ergebnisse	10
4.1	Bestimmung Lagenaufbau bereits geprüfter Proben	10
4.2	Zugprüfung nach DIN EN ISO 527-4	11
4.3	Bestimmung Bolzentragfähigkeit nach DIN EN 13706-2	14
4.4	Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125 an UV bestrahlten Laminatstücken	15
5	Zusammenfassung	16

3.3 Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125 an UV-bestrahlten Laminatstücken

3.3.1 Personal

- Techniker: Hr. Schumann, A2100

3.3.2 Prüfeinrichtung

- TIRAtest 2300, rechnergekoppelt, Genauigkeitsklasse 1 nach DIN 51221, Kraftmessdose 10 kN, Inventar-Nr.: 8004266
- Biegebalken, 3-Punkt Biegung

3.3.3 Prüfbedingungen

- Gesamtprobenzahl: 6
- Prüfgeschwindigkeit: 2 mm / min (1 % / min)
- Stützweite: $a_{\text{mittel}} \times 16 \pm 1 \text{ mm}$
- Radius Druckfinne: $5 \pm 0,2 \text{ mm}$
- Radius Auflager: $5 \pm 0,2 \text{ mm}$ für Probendicken $a > 3 \text{ mm}$
- Probengeometrie: $(20 \times a) \times 15 \times a \text{ [mm]}$
- Dehnungsmessung über Wegaufnehmer
- Prüfung bei Normklima 23/50 ($23 \pm 2 \text{ °C}$, $50 \pm 10 \text{ % rel. Luftfeuchte}$) nach ISO 291, Klasse 2

3.3.4 Versuchsdurchführung

- 3 Messungen von Breite, Länge und Dicke mit $\pm 0,01 \text{ mm}$ Messgenauigkeit, Berechnung der Stützweite gemäß Prüfnorm
- Berechnung der Prüfgeschwindigkeit mit $v = \frac{0,01 \cdot L^2}{6 \cdot a}$
- Bestimmung Kraft-Dehnungsverlauf, E-Modul zwischen $\epsilon'_B = 0,05 \text{ %}$ und $\epsilon''_B = 0,25 \text{ %}$, Festigkeit, Bruchdehnung,

Influence UV on Fiber Glass – UV loaded fiber glass in comparison to non UV loaded fiber glass

Tabelle 1: Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125, Laminat 1-2, Ausgangszustand, Prüfrichtung = senkrecht zur UD-Richtung

Pk.-Nr.	a [mm]	b [mm]	L [mm]	F [N]	σ_F [MPa]	E_F [GPa]	ε [%]
B001/08-1-2-BS1	3,76	14,97	59,0	209	87,4	7,826	1,98
B001/08-1-2-BS2	3,72	14,92		226	97,0	7,912	2,22
B001/08-1-2-BS3	3,67	14,99		210	91,8	8,044	2,06
B001/08-1-2-BS4	3,64	14,97		191	85,2	7,965	1,73
B001/08-1-2-BS5	3,61	14,87		213	97,2	8,201	2,14
B001/08-1-2-BS6	3,56	14,99		232	108,2	8,519	2,15
Mittelwert:				94,5	8,078	2,05	
Standardabweichung:				8,3	0,251	0,2	
Variationskoeffizient:				8,8%	3,1%	8,5%	

Tabelle 2: Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125, Laminat 1-2, nach UV-Bestrahlung, Prüfrichtung = senkrecht zur UD-Richtung

Pk.-Nr	b [mm]	a [mm]	L [mm]	F _m [N]	σ _F [MPa]	E _F [GPa]	ε [%]
B325/09-2-1-UV1-BS-1	15,01	4,45	71,0	268	96,0	8,201	1,52
B325/09-2-1-UV1-BS-2	15,02	4,49		273	96,1	8,298	1,61
B325/09-2-1-UV1-BS-3	15,01	4,45		277	99,4	8,278	1,63
B325/09-2-1-UV1-BS-4	14,94	4,46		261	93,5	7,946	1,68
B325/09-2-1-UV1-BS-5	14,97	4,43		244	88,3	7,863	1,55
B325/09-2-1-UV1-BS-6	14,97	4,43		260	94,4	7,920	1,62
Mittelwert:				94,6	8,084	1,60	
Standardabweichung:				3,7	0,196	0,06	
Variationskoeffizient:				3,89%	2,42%	3,61%	

Tabelle 3: Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125, Laminat 1-2, Ausgangszustand, Prüfrichtung = parallel zur UD-Richtung

Pk.-Nr.	a [mm]	b [mm]	L [mm]	F [N]	σ_F [MPa]	E_F [GPa]	ε [%]
B001/08-1-2-BP1	3,83	14,94	61,0	1142	476,9	16,426	2,87
B001/08-1-2-BP2	3,76	14,96		1199	518,6	17,666	2,95
B001/08-1-2-BP3	3,79	14,91		1162	496,3	17,072	2,88
B001/08-1-2-BP4	3,83	14,94		1200	501,0	17,017	2,86
B001/08-1-2-BP5	3,87	14,93		1162	475,5	16,407	2,76
B001/08-1-2-BP6	3,93	14,96		1260	499,1	16,435	2,91
Mittelwert:				494,6	16,837	2,87	
Standardabweichung:				16,2	0,508	0,1	
Variationskoeffizient:				3,3%	3,0%	2,1%	

Tabelle 4: Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125, Laminat 1-2, nach UV-Bestrahlung, Prüfrichtung = parallel zur UD-Richtung

Pk.-Nr	b [mm]	a [mm]	L [mm]	F _m [N]	σ _F [MPa]	E _F [GPa]	ε [%]
B325/09-2-1-UV2-BP-1	15,02	4,46	74,0	1017	377,9	14,284	2,53
B325/09-2-1-UV2-BP-2	15,01	4,57		1075	380,8	14,642	2,64
B325/09-2-1-UV2-BP-3	15,02	4,62		1058	366,2	15,067	2,57
B325/09-2-1-UV2-BP-4	15,03	4,69		1133	380,3	14,678	2,80
B325/09-2-1-UV2-BP-5	15,03	4,71		1163	387,1	14,643	2,77
B325/09-2-1-UV2-BP-6	15,01	4,69		1252	421,0	15,458	2,78
Mittelwert:				385,5	14,795	2,68	
Standardabweichung:				18,7	0,409	0,12	
Variationskoeffizient:				4,84%	2,76%	4,37%	

Die Probenserie senkrecht zur UD-Richtung weist keine Änderung der Materialkennwerte infolge UV-Bestrahlung auf. Die Probenserien parallel zur UD-Richtung zeigen eine Reduktion von 22% für die Festigkeit und 12% für die Steifigkeit.

UV-Bestrahlung:

- Kontinuierliche UV-A-Bestrahlung (340 nm) und Kondensation (1 Zyklus: 8 h UV-A (340 nm) bei 60 °C und 4 h Kondensation bei 50 °C)
- Belastungsdauer: 1000 h

Influence UV on Fiber Glass – UV loaded fiber glass in comparison to non UV loaded fiber glass



Abbildung 9: Biegeprüfkörper Prüfsérie Gewebe



Abbildung 10: Biegeprüfkörper Prüfsérie Gewebe

Influence Of Temperature on Fiber Glass

Prüfbericht

Materialprüfungen an GFK-Masten

Prüfbericht-Nr.: B001/08.2A



Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	6
2	Durchführung	7
2.1	Anlieferungszustand (*)	7
2.2	Probenzuschnitt und Probenpräparation	8
2.3	Lagerung	8
3	Versuchsdurchführung	13
3.1	Zugprüfung nach DIN EN ISO 527-4 bei Normklimabedingungen	13
3.2	Zugprüfung nach DIN EN ISO 527-4 bei Temperatur	13
3.3	Druckprüfung nach DIN EN ISO 14126	14
3.4	Bestimmung Fasergehalt nach DIN EN ISO 1172	14
3.5	Biegeprüfung nach DIN EN ISO 14125	15
3.6	ILSS-Prüfung nach DIN EN ISO 14130	15
3.7	Bestimmung Bolzentragfähigkeit nach DIN EN 13706-1	16
3.8	Scheiteldruckprüfung nach DIN 53769	16
3.9	UV-Prüfung nach DIN EN ISO 4892-3	17
3.10	Biegekrechprüfung nach DIN EN ISO 899-2	17
3.11	Zeitstand-Bruchprüfung unter Biegebelastung	18
3.12	Dynamische Zugprüfung	19
4	Auswertung	20
4.1	Auswertung Druckprüfung DIN EN ISO 14126	20
4.2	Auswertung Zeitstand-Bruchprüfung	21
4.3	Kennwertbestimmung Bauteillaminat	23
4.4	Kennwertbestimmung Vergleichslaminat	27
5	Abminderungsfaktoren	52
5.1	Abminderungsfaktor für Langzeitbelastung	52
5.2	Abminderungsfaktor für Medienbelastung	52
5.3	Abminderungsfaktor für Temperaturbelastung	53
6	Zusammenfassung mechanische Kennwerte	53

(*) Die Angaben im Kapitel Anlieferungszustand bezüglich der Herstellung des Probenmaterials, gekennzeichnet mit (*), wurden durch den Auftraggeber gemacht und unterliegen nicht der Prüfung durch die IMA Dresden.

3.2 Zugprüfung nach DIN EN ISO 527-4 bei Temperatur

3.2.1 Prüfeinrichtung

- Universalprüfmaschine Zwick 1494, Genauigkeitsklasse 0,5 (je nach Messbereich) nach DIN 51221, Inventar-Nr. 022213
- Temperatorkammer

3.2.2 Prüfbedingungen

- Gesamtprobenzahl: 5/6 je Serie
- Prüfgeschwindigkeit: 2 mm / min
- Probentyp: 270 x 25 x a [mm]
- Probentyp: Aufleimer, Krafteinleitungen $\pm 45^\circ$ Glasgewebe
- Dehnungsmessung mittels Dehnmessstreifen
- Prüfung bei -40°C und $+80^\circ\text{C}$

3.2.3 Versuchsdurchführung

- 3 Messungen von Breite und Dicke mit $\pm 0,01$ mm Messgenauigkeit
- Bestimmung Kraft-Dehnungsverlauf, E-Modul zwischen $\epsilon'_1 = 0,05\%$ und $\epsilon''_2 = 0,25\%$, Festigkeit, Bruchdehnung

Influence Of Temperature on Fiber Glass

4.4.3 Zugprüfung nach DIN EN ISO 527-4 bei Temperatur

Tabelle 39: Zugprüfung nach DIN EN ISO 527-4, Prüftemperatur: -40 °C, Prüfrichtung = Mastquerrichtung, Laminat 1.3

Proben-Nr.	a [mm]	b [mm]	F _m [N]	σ _M [MPa]	E [GPa]	F/b/N [N/mm]
B001/08-1-3-40-ZS1	5,01	25,22	7491	59,3	12,424	74,3
B001/08-1-3-40-ZS2	5,04	25,21	6502	51,2	14,372	64,5
B001/08-1-3-40-ZS3	5,00	25,22	7097	56,3	14,066	70,4
B001/08-1-3-40-ZS4	5,02	25,22	6212	49,1	16,332	61,6
B001/08-1-3-40-ZS5	5,01	25,23	6817	53,9	13,898	67,6
B001/08-1-3-40-ZS6	5,07	25,22	6518	51,0	11,135	64,6
Mittelwert:			53,5	13,704	67,1	
Standardabweichung:			3,8	1,775	4,6	
Variationskoeffizient:			7,2%	13,0%	6,8%	
max:			59,3	16,332	74,3	
min:			49,1	11,135	61,6	
R _{90,05} :			44,5	9,550	56,4	

Auf Grund des Probenversagens durch Zwischenfaserrisse wurden die zur Dehnungsmessung verwendeten Dehnmessstreifen vor Erreichen der Maximalkraft zerstört. Somit war eine Auswertung der Bruchdehnung nicht möglich.

Tabelle 40: Zugprüfung nach DIN EN ISO 527-4, Prüftemperatur: +80 °C, Prüfrichtung = Mastquerrichtung, Laminat 1.3

Proben-Nr.	a [mm]	b [mm]	F _m [N]	σ _M [MPa]	E [GPa]	ε _M [%]	F/b/N [N/mm]
B001/08-1-3-80-ZS1	4,97	25,24	4438	35,4	3,594	1,32	44,0
B001/08-1-3-80-ZS2	4,94	25,20	4286	34,4	3,495	1,34	42,5
B001/08-1-3-80-ZS3	4,85	25,16	4572	37,4	3,854	1,26	45,4
B001/08-1-3-80-ZS4	4,43	25,03	4130	37,2	5,018	0,90	41,3
B001/08-1-3-80-ZS5	4,60	25,06	4650	40,4	4,674	1,20	46,4
B001/08-1-3-80-ZS6	4,74	25,03	4194	35,4	4,498	1,00	41,9
Mittelwert:			36,7	4,189	1,17	43,6	
Standardabweichung:			2,1	0,627	0,18	2,0	
Variationskoeffizient:			5,8%	15,0%	15,5%	4,7%	
max:			40,4	5,018	1,34	46,4	
min:			34,4	3,495	0,90	41,3	
R _{10,05} :			31,7	2,722	0,75	38,8	

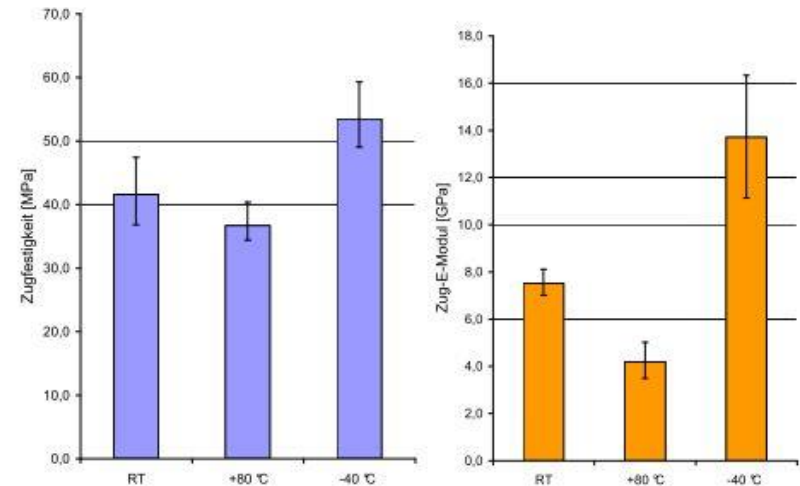


Abbildung 5: Zusammenfassung Zugfestigkeit, Zugsteifigkeit, Prüfrichtung = Mastquerrichtung, Laminat 1.3

Die Abminderung der Festigkeit in Mastquerrichtung durch Temperatureinfluss beträgt $A_3^f = 1,13$. Die Abminderung des E-Modul beträgt $A_3^E = 1,8$.

Material Behavior in Respect of Damping – Resonance on wind gusts and further frequencies

Technische Universität Braunschweig
Institut für Stahlbau
Prof. Dr.-Ing. U. Peil



Dämpfungsmessung an GfK-Masten

Bericht Nr. 8700

Exemplar 2 von 3

Auftraggeber: Ingenieursozietät Peil, Ummenhofer und Partner
Nordstraße 23
38106 Braunschweig

Dieser Bericht besteht aus 6 Seiten und 3 Anlagen.

Dieser Bericht darf ohne Genehmigung des Institut für Stahlbau nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Die in diesem Bericht dargestellten Prüfergebnisse beziehen sich nur auf die beschriebenen Prüfgegenstände.

Institut für Stahlbau der Technischen Universität Braunschweig
Beethovenstr. 51 · 38106 Braunschweig



Bericht Nr. 8700

Seite I

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Veranlassung und Untersuchungsziel	2
2 Versuchsreihe 1: Logarithmisches Dämpfungsdekrement an Mastmodellen	2
2.1 Versuchsaufbau	2
2.2 Auswertung der Messdaten	3
2.3 Darstellung der Ergebnisse	4
3 Versuchsreihe 2: Logarithmisches Dämpfungsdekrement an GfK-Flachproben bei unterschiedlichen Temperaturen	5
3.1 Versuchsaufbau	5
3.2 Auswertung der Messdaten	5
3.3 Darstellung der Ergebnisse	6

Anlagenverzeichnis

- 1 Zeichnungen Mastmodelle
- 2 Abklingkurven Mastmodelle
- 3 Abklingkurven Flachproben

Institut für Stahlbau der Technischen Universität Braunschweig



Material Behavior in Respect of Damping – Resonance on wind gusts and further frequencies



Abbildung 2: Versuchsaufbau Flachproben (Temperaturkammer geöffnet)

Mastmodell	Richtung	Logarithmisches Dekrement Λ [-]		
A	x	0,044	0,054	0,044
	y	0,053	0,048	0,046
B	x	0,049	0,049	0,050
	y	0,055	0,054	0,054
C	x	0,040	0,040	0,040
	y	0,063	0,063	0,066

Temp. [°C]	Probe 1			Probe 2		
-20	0,017	0,018	0,017	0,017	0,018	0,018
0	0,027	0,027	0,026	0,270	0,026	0,027
20	0,037	0,037	0,036	0,039	0,040	0,038
40	0,047	0,046	0,044	0,050	0,047	0,049

Tabelle 3: Versuchsergebnisse Flachproben (Logarithmisches Dekrement Λ [-])

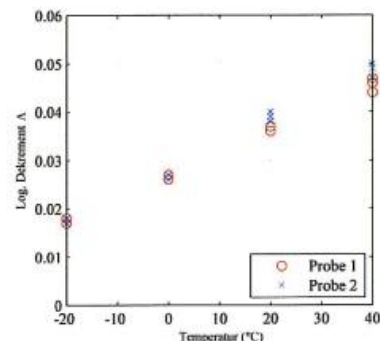


Abbildung 3: Einfluss der Temperatur auf die Dämpfung



Abbildung 1: Versuchsaufbau Mastmodelle

4 Zusammenfassung

Es wurden Ausschwingversuche sowohl an GfK-Mastmodellen als auch an den GfK-Flachproben durchgeführt und das logarithmische Dämpfungsdekrement anhand der Abklingkurven bestimmt.

In der Versuchsreihe 1 wurden drei GfK-Mastmodelle mit unterschiedlichen Geometrien bei Raumtemperatur dreimal in je zwei zueinander orthogonalen Ebenen am Zylinderzopf ausgelenkt. Aufgrund der teilweise stark taumelnden Schwingungen wurde die Dämpfung anhand der Abklingkurven aus der Resultierenden beider Beschleunigungssignale bestimmt. Die logarithmischen Dämpfungsdekremente der Mastmodelle variieren zwischen 4,0 und 6,6% (s. Tabelle 2).

In der Versuchsreihe 2 wurden zwei GfK-Flachproben für vier unterschiedliche Temperaturen (-20° bis 40°C) am freien Ende der Probe in Dickenrichtung je dreimal ausgelenkt. Die Temperierung erfolgte mit Hilfe einer Temperaturkammer, die die Flachproben während der Versuche umschloss. Die resultierenden logarithmischen Dekremente variieren dabei von 1,7 bis 5% (s. Tabelle 3). Der Einfluss der Temperatur auf die Dämpfung ist deutlich zu erkennen, mit steigender Temperatur nimmt das logarithmische Dekrement zu (s. Abbildung 3).

Braunschweig, 08. April 2010

U. Peil
Prof. Dr.-Ing. U. Peil

O. Steiln
Dipl.-Ing. O. Steiln
Sachbearbeiter

Institut für Stahlbau der Technischen Universität Braunschweig



NATIONAL AMERICAN METEOROLOGICAL SERVICE

- Mainly 3-hourly readings of temperature and wind speed of the official station of the **Oklahoma** National American Meteorological Service of the time series from 1986 to 2008 and
- Mostly 6-hourly readings of temperature and wind speed of the official station of the **Wichita Falls** American national weather service of the time series 1988-2008

Korrelation von Temperatur und Windgeschwindigkeit in Oklahoma/ USA

Klassen von bis von/bis	0,0 0,9	1,0 1,9	2,0 2,9	3,0 3,9	4,0 4,9	5,0 5,9	6,0 6,9	7,0 7,9	8,0 8,9	9,0 9,9	10,0 10,9	11,0 11,9	12,0 12,9	13,0 13,9	14,0 14,9	15,0 15,9	16,0 16,9	17,0 17,9	18,0 18,9	19,0 19,9	20,0 20,9	21,0 21,9	22,0 22,9	23,0 23,9	24,0 24,9	25,0 25,9	26,0 26,9	27,0 27,9	28,0 28,9	29,0 29,9	30,0 30,9 alle
-22.0/-20.1	1																														1
-20.0/-18.1	1			2	1				2																						6
-18.0/-16.1	2		1	1	2	2			3	1	1	1			1																17
-16.0/-14.1				2			6	4	5		4	2																			23
-14.0/-12.1	1	2	6	5	8	9	6	8	11	5	3	4	1	1		1															72
-12.0/-10.1	5	4	10	14	13	19	19	11	9	5	3	2	1																		115
-10.0/-8.1	17	14	23	38	24	30	29	26	17	12	6	5	6	3			2														252
-8.0/-6.1	25	25	62	72	58	51	72	38	25	19	9	12	6	6	3	2			1	1											487
-6.0/-4.1	41	29	96	101	93	60	70	46	42	30	15	5	6	4	4																642
-4.0/-2.1	73	65	196	262	190	134	110	85	63	56	27	20	17	6	3	2			1												1310
-2.0/-0.1	73	70	208	252	177	167	114	78	65	45	25	21	14	2	5		1	1													1318
0.0/ 1.9	157	111	447	545	472	314	222	192	144	115	68	38	24	9	2		1		1												2862
2.0/ 3.9	141	133	431	584	504	356	258	236	138	121	87	50	29	10	3	2															3083
4.0/ 5.9	103	104	350	433	416	328	263	201	168	104	66	42	18	10	2	1															2610
6.0/ 7.9	154	118	454	629	549	466	388	291	183	152	79	52	19	13	4	2	1			1											3555
8.0/ 9.9	122	102	358	473	485	368	318	241	180	106	69	49	18	7	9		1														2906
10.0/ 11.9	154	128	508	680	605	499	417	355	270	148	115	51	25	11	7	2	2														3977
12.0/ 13.9	143	122	434	668	600	545	425	359	282	177	105	37	28	9	7																3941
14.0/ 15.9	98	97	357	489	477	419	324	267	211	157	76	46	26	11	2	1															3058
16.0/ 17.9	165	146	565	661	703	560	451	362	281	179	112	60	30	17	10	1	2			1											4306
18.0/ 19.9	135	131	510	663	533	475	409	332	249	168	87	61	22	9	4	1			1												3790
20.0/ 21.9	215	178	789	968	733	605	497	420	270	207	113	65	34	10	10		2														5117
22.0/ 23.9	176	192	906	1249	924	692	511	373	290	176	101	75	27	17	4	2			1		1										5719
24.0/ 25.9	85	100	454	758	671	491	371	294	189	122	76	30	15	9	1				1												3667
26.0/ 27.9	64	93	382	738	703	573	454	341	218	138	80	39	19	6	2																3850
28.0/ 29.9	24	39	185	388	485	430	325	240	151	97	41	25	13	1	1																2446
30.0/ 31.9	36	43	164	288	433	413	370	265	174	103	40	10	8	3																	2350
32.0/ 33.9	16	24	94	179	273	294	304	214	148	66	35	12	5	1																	1665
34.0/ 35.9	8	6	51	84	144	156	146	116	40	25	4	2	1																		783
36.0/ 37.9	6	9	24	63	86	124	120	74	34	13	1	1																			555
38.0/ 39.9	2		12	22	27	28	26	22	9																						148
40.0/ 41.9		2	3	3	8	10	7	2	3	2		1																			41
42.0/ 43.9					1		1																								2
alle	2243	2087	8080	11314	10398	8618	7035	5493	3874	2549	1448	818	412	175	84	17	12	4	5	4	1			1							2 64674

Loadcase: Temperature and Wind

Ingenieursozietät Peil, Ummenhofer und Partner
Beratende Ingenieure



Prof. Dr.-Ing. Udo Peil
Prüfingenieur für Baustatik
Schweißfachingenieur
Prof. Dr.-Ing. Thomas Ummenhofer
Dr.-Ing. Michael Siems

Gutachtliche Stellungnahme über kombinierte Auftretenswahrscheinlichkeiten von Wind und Temperatur zur Bemessung von Antennentragwerken aus faserverstärktem Kunststoff

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	3
2	Beschreibung von Einwirkungen	4
2.1	BÜV-Empfehlungen	4
2.2	Beschreibung der Windeinwirkung	6
2.3	Kombinierte Einwirkung von Wind und Temperatur	7
2.4	Ermittlung eines Kombinationsbeiwertes	9
3	Zusammenfassung	11
4	Anhang	12
4.1	Extremwertanalyse der Windgeschwindigkeiten	12
4.2	Extremwertanalyse der kombinierten Einwirkung	14
4.3	Quellennachweis	15

Auftraggeber : Europoles GmbH & Co. KG
Ingolstädter Straße 51
P.O. Box 100 444
92318 Neumarkt, Germany

Projekt-Nr.: 10-606

Datum : Braunschweig, den 28.04.2010

Diese gutachtliche Stellungnahme umfasst 15 Seiten einschließlich Deckblatt.

Nordstr. 23 38106 Braunschweig
Tel. +49 (0)531 – 12331-00
Fax +49 (0)531 – 12331-11
email: ipu@ipu-bs.de
www : ipu-bs.de

Seilerstr. 19 38440 Wolfsburg
Tel. +49 (0)5361 – 275 93 03
Fax +49 (0)5361 – 275 93 04
email : ipu@ipu-wob.de
www: ipu-wob.de

Loadcase: Temperature and Wind

3 Zusammenfassung

In der vorliegenden gutachtlichen Stellungnahme wurde die Auswirkung der Temperatur bei einer Bemessung von faserverstärkten Kunststoffen unter Windeinwirkung betrachtet. Hierzu wurden Messdaten synchroner Windgeschwindigkeits- und Temperaturmessungen von fünf Wetterstationen statistisch ausgewertet.

Eine Abminderung der Werkstoffeigenschaften ist in der BÜV-Empfehlung erst ab Temperaturen von mehr als 30°C vorgesehen. Starkwindereignisse mit großen Windgeschwindigkeiten treten nicht gemeinsam mit solch hohen Temperaturen auf. Eine Berücksichtigung des Temperatureinflusses ist bei einer Bemessung für Starkwindereignisse mit einer jährlichen Eintretenswahrscheinlichkeit von nicht mehr als 0,05 bzw. 0,02 nicht erforderlich.

Den Betrachtungen dieser gutachtlichen Stellungnahme lagen stets Lufttemperaturen zu Grunde. Für die Beurteilung einer Beeinflussung von Werkstoffeigenschaften wären aber die Materialtemperaturen zu erfassen. Durch die Phasenverschiebung zwischen Luft- und Bauteiltemperatur können ungünstigere Kombinationen von Temperatur und Windeinwirkung auftreten. Dieser Effekt wird als nicht maßgebend für die hier behandelte Fragestellung angesehen. Durch die notwendige Zeit, die das Starkwindereignis benötigt, bis die maximale Windgeschwindigkeit vorhanden ist, besteht genügend Zeit für das Bauteil, die Wärme an die Umgebung abzuleiten. Dieser Effekt wird durch die erhöhten Windgeschwindigkeiten noch verstärkt.

Bemessung von Masten aus glasfaserverstärktem Kunststoff

Auftraggeber: Europoles GmbH & Co. KG
Ingolstädter Straße 51
92318 Neumarkt

Aktenzeichen: 080218

Voraussetzungen

Für die Herstellung der Lamine werden die folgenden Glasfaserwerkstoffe verwendet:

- Saertex 576/360 g/m²
- ROVIGLAS R580
- Vlies 60 g/m²

Der Berechnung der Querschnittswerte werden rechnerische Wändicken t^* zugrunde gelegt, die wie folgt bestimmt werden:

Glasfaserwerkstoff	t^*
÷	mm/Lage
Saertex 576/360	1,25
ROVIGLAS R580	1,00
Vlies	0,00

Dabei dürfen nur im jeweiligen Querschnitt über den gesamten Umfang vorhandene Lagen angerechnet werden.

Grundlagen

Das Bemessungskonzept beruht auf der BÜV-Empfehlung »Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen [TKB] – Entwurf, Bemessung und Konstruktion«, Fassung Oktober 2002.

Die bemessungsrelevanten Werkstoffkennwerte werden aus den im Prüfbericht Nr. B011/08-2, »Materialprüfungen an GFK-Masten« der IMA Dresden mitgeteilten Ergebnissen abgeleitet. Dabei wird von den o. g. rechnerischen Wändicken ausgegangen, d. h. die in dem genannten Prüfbericht mitgeteilten Versuchsergebnisse werden entsprechend umgerechnet und die statistische Auswertung wird mit den so erhaltenen Werten erneut durchgeführt, da der Umrechnungsfaktor für jeweils eine Versuchsreihe i. d. R. nicht konstant ist, so dass sich mit den umgerechneten Werten u. U. andere statistische Kenngrößen ergeben.

Werkstoffkennwerte

Erfassung der Einsatzbedingungen (rechnerische Abminderung)

– Dauer der Einwirkung

Für die Mastlängsrichtung betragen die Einflussfaktoren A_1 :

$A_1^E = 1,4$ für den Elastizitätsmodul und

$A_1^f = 2,4$ für die Festigkeit.

Für die Mastquerrichtung betragen die Einflussfaktoren A_1 :

$A_1^E = 3,0$ für den Elastizitätsmodul und

$A_1^f = 2,4$ für die Festigkeit.

- Medieneinfluss

Für beide Richtungen betragen die Einflussfaktoren A_2 :

$A_2^E = A_2^f = 1,2$ für den Elastizitätsmodul und die Festigkeit.

- Temperatureinfluss

Für die Mastlängsrichtung betragen die Einflussfaktoren A_3 :

$A_3^E = 1,6$ für den Elastizitätsmodul bei Betriebstemperaturen $\leq 80^\circ\text{C}$
bzw.

$A_3^E = 1,2$ für den Elastizitätsmodul bei Betriebstemperaturen $\leq 40^\circ\text{C}$
und

$A_3^f = 1,6$ für die Festigkeit.

Für die Mastquerrichtung betragen die Einflussfaktoren A_3 :

$A_3^E = 1,8$ für den Elastizitätsmodul und

$A_3^f = 1,1$ für die Festigkeit.

Bemessungswerte des Widerstands

Da die Variationskoeffizienten für die bemessungsrelevanten Größen nach dem o. g. Prüfbericht auch bei den Bauteillaminaten durchweg $< 0,1$ sind, werden die folgenden Teilsicherheitsbeiwerte γ_M festgelegt:

Grundkombination			Außergewöhnliche Bemessungssituationen		
Festigkeit	örtliche Stabilität	Gesamtstabilität	Festigkeit	örtliche Stabilität	Gesamtstabilität
1,2	1,4	1,2	1,0	1,2	1,0

Aus dem o. g. Prüfbericht ergeben sich die folgenden charakteristischen Werkstoffkennwerte:

	Elastizitätsmodul	Zugfestigkeit	Bolzentragsfähigkeit
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
Mastlängsrichtung	17000	240	190
Mastquerrichtung	6000	35	28 ^{*)}
Interlaminar	÷	20	÷

* In Analogie zur Zugfestigkeit angenommen

Nicht vorwiegend ruhende Belastung

Für die charakteristische Wöhlerlinie (5 %-Quantil) gilt die Gleichung

$$N = 10^6 \cdot \left(\frac{60}{2\sigma_a} \right)^{7,6}$$

mit

der Spannungsschwingbreite $2\sigma_a$.

Für den häufig vorkommenden Fall, dass die nicht vorwiegend ruhende Belastung durch den böigen Wind hervorgerufen wird, kann der ermüdungswirksame Lastanteil bei Annahme der unbegrenzten Gültigkeit der o. g. Wöhlerlinie auf der sicheren Seite zu

$$\text{ers } 2\sigma_a = \max 2\sigma_a \cdot \alpha_w$$

angegeben werden, wobei

$$\max 2\sigma_a \approx \max \sigma \text{ infolge des 50-Jahres-Winds und}$$

$$\alpha_w = \frac{\sqrt[7]{\Gamma(8,6)}}{\ln(\max n)}$$

mit

$$\max n = 4 \cdot 10^8 \text{ für 20 Jahre Nutzungsdauer, also}$$

$$\alpha_w = 0,18$$

ist.

Bei gleichem Sicherheitsbeiwert γ_M für den Spannungs- und den Betriebsfestigkeitsnachweis kann dieser bei der folgenden Abschätzung außer Acht bleiben, d. h. es werden die γ_M -fachen Spannungen betrachtet:
Da es sich beim böigen Wind um eine Kurzzeitbeanspruchung handelt, bei der $A_1^f = 1,0$ gesetzt werden darf, kann die Spannung aus dem 50-Jahres-Wind maximal den Wert

$$\max \sigma_d = 240 \text{ N/mm}^2$$

erreichen, wenn Temperatur- und Medieneinflüsse, die sich beim Spannungs- und Betriebsfestigkeitsnachweis gleichermaßen auswirken, außer Ansatz bleiben. Wird nach DIN 1055-100 beim Betriebsfestigkeitsnachweis auf der Lastseite der Teilsicherheitsbeiwert zu 1,0 angenommen, so wird

$$\text{ers } 2\sigma_a = 0,18 \cdot 240 / 1,5 = 28,8 \text{ N/mm}^2.$$

Mit der obigen Wöhlerlinie ist

$$2\sigma_{a,R} = 60 \cdot \sqrt[7]{\frac{10^6}{4 \cdot 10^8}} = 27,3 \text{ N/mm}^2 \approx 28,8 \text{ N/mm}^2,$$

so dass der Betriebsfestigkeitsnachweis in diesem Fall nicht maßgebend wird.

Bemessung von Masten aus glasfaserverstärktem Kunststoff

Ermüdungswirksamer Windlastanteil

Grundlagen

Der Betriebsfestigkeitsnachweis kann durch Umrechnung des für die nicht vorwiegend ruhende Belastung maßgebenden Beanspruchungskollektivs in ein schädigungsgleiches einstufiges Ersatzkollektiv mit gleichem Kollektivumfang $\max n$ und Vergleich der Ordinate des Ersatzkollektivs $\text{ers } 2\sigma_s$ mit der der Wöhlerlinie des Werkstoffs entnommenen aufnehmbaren Beanspruchung $2\sigma_{s,R}$ erbracht werden.

In Bild 1 sind die Zusammenhänge schematisch dargestellt.

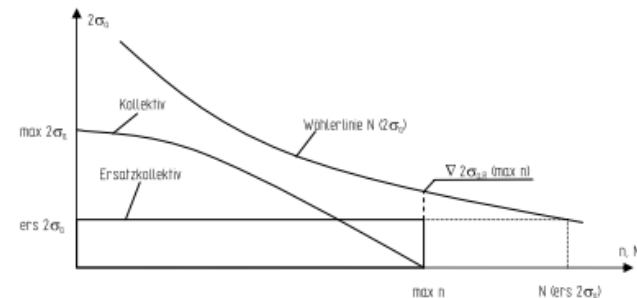


Bild 1: Schädigungsgleiches Ersatzkollektiv, schematische Darstellung

Die durch ein Beanspruchungskollektiv verursachte Schädigung ergibt sich nach der Palmgren-Miner-Hypothese zu

$$D = \int \frac{dn(2\sigma_s)}{N(2\sigma_s)}$$

Die vorhandene Lastspielzahl mit der Beanspruchungsschwingbreite $2\sigma_s$ beträgt

$$dn(2\sigma_s) = \max n * f_i(2\sigma_s) * d(2\sigma_s)$$

mit

$f_i(2\sigma_s)$ Verteilungsdichte der Beanspruchungsschwingbreiten.

Wird für die Wöhlerlinie die unbegrenzte Gültigkeit einer Funktion der Form

$$N(2\sigma_s) = \frac{c}{g(2\sigma_s)}$$

vorausgesetzt, worin $g(2\sigma_s)$ eine monoton steigende Funktion ist, so gilt für die durch das vorhandene Beanspruchungskollektiv verursachte Schädigung

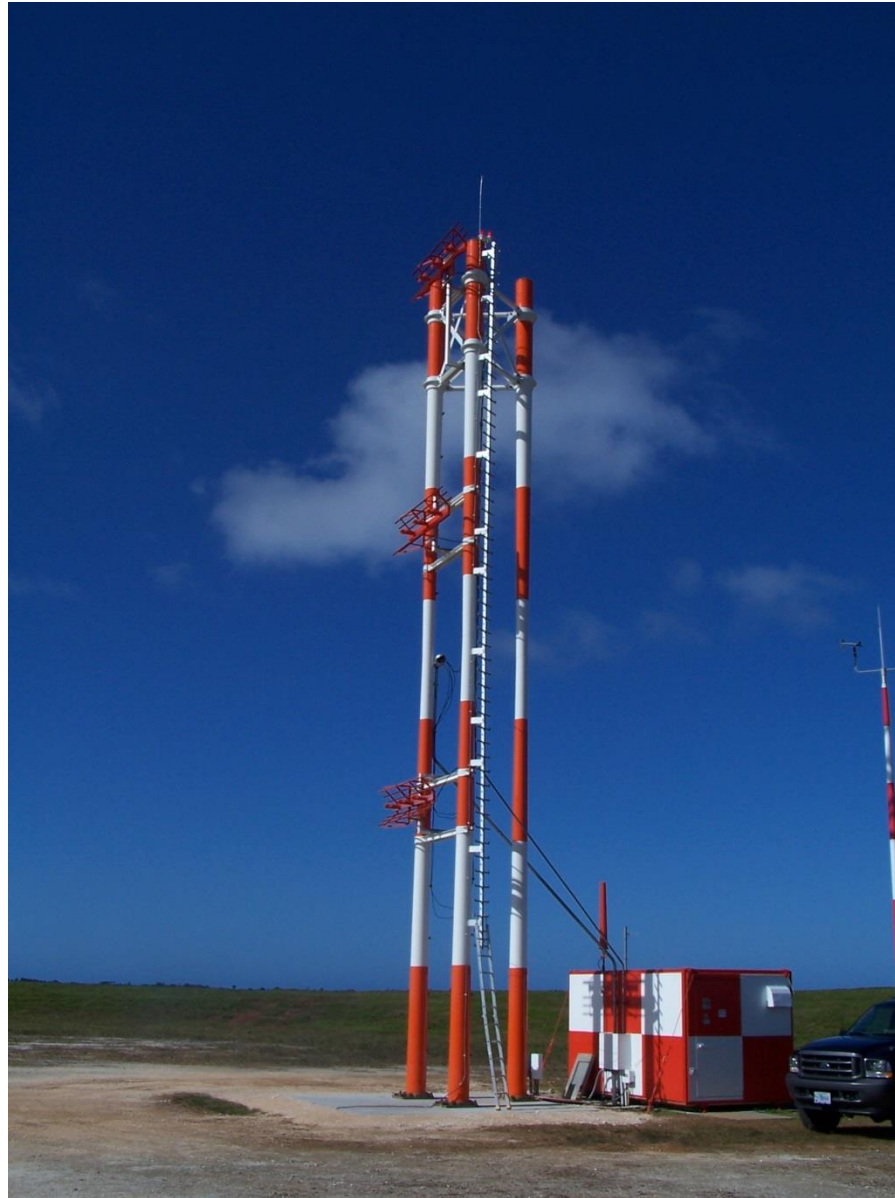
Auftraggeber: Europolos GmbH & Co. KG
Ingolstädter Straße 51
92318 Neumarkt

Aktenzeichen: 080218

Datum: 11.11.2009

REFERENCES

REFERENCES - Guam



REFERENCES - Guam



REFERENCES - Japan



REFERENCES - Japan



REFERENCES – Schwäbisch Hall



REFERENCES – Schwäbisch Hall



ACCIDENTS

ACCIDENTS - movie

Hosted On

LiveLeak









FRANGIBILITY

FRANGIBILITY – Report NLR, 2003

Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium

National Aerospace Laboratory NLR



NLR-CR-2003-057

Frangibility analysis of a tubular composite approach light mast by Pfleiderer

M. Nawijn, M.H. van Houten, C.J. Lof and J.F.M. Wiggenraad

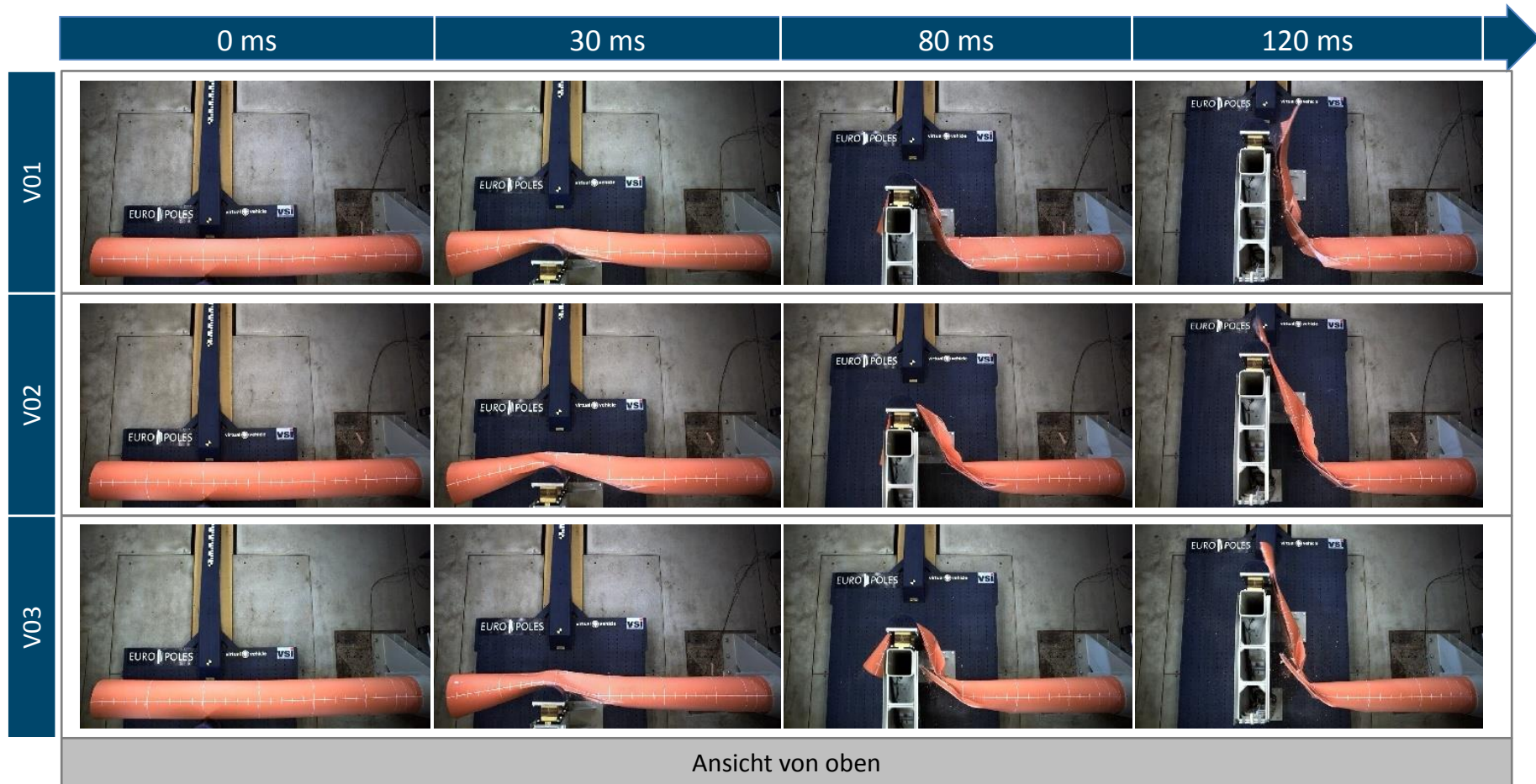
FRANGIBILITY – Tests München, 2008 - movie



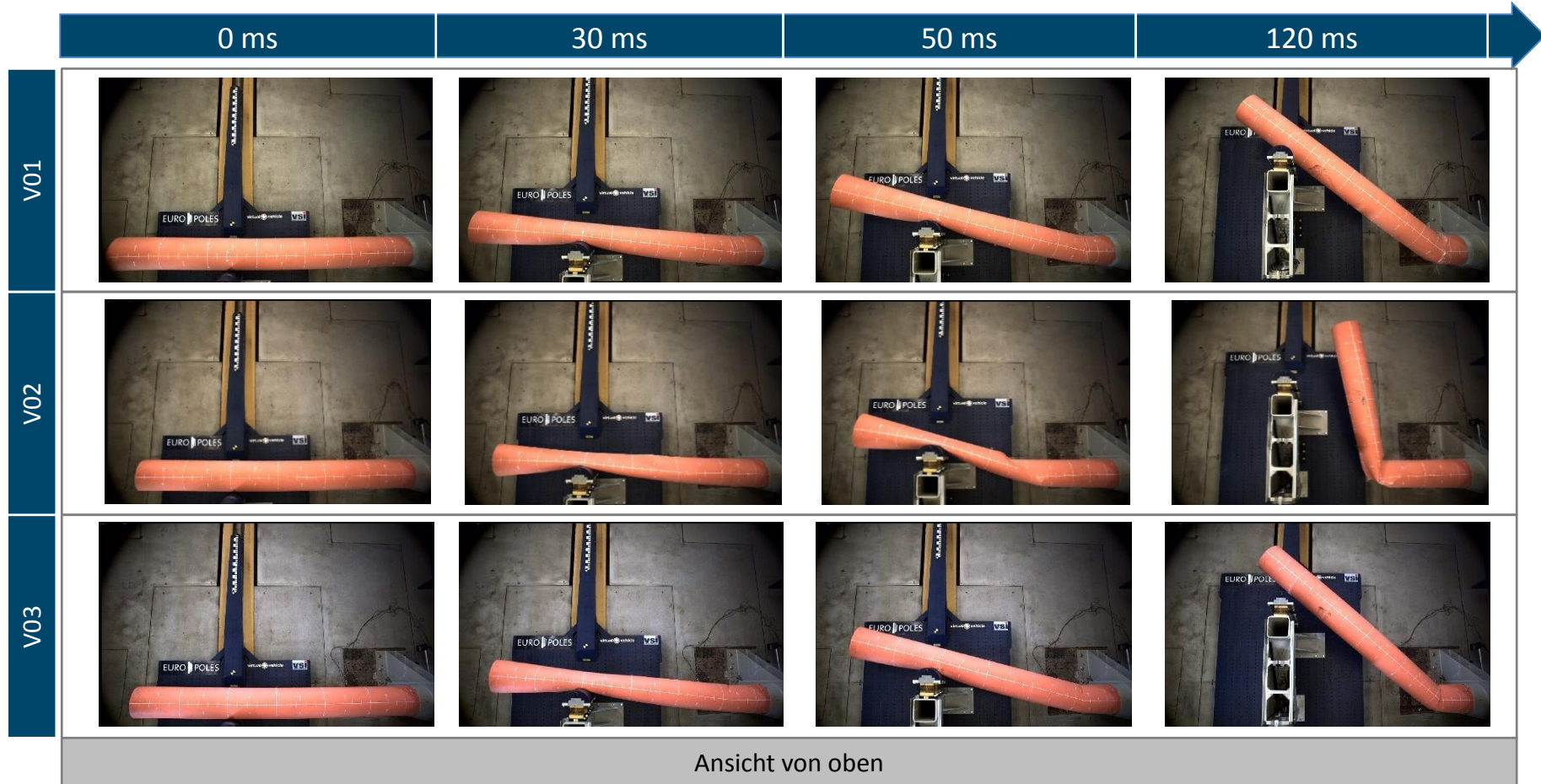
FRANGIBILITY – Tests Leibheim (Concept Graz), 2010 - movie



FRANGIBILITY – Tests Graz (Virt. Vehicle Graz) – GFK3 – comparison crash behavior



FRANGIBILITY – Tests Graz (Virt. Vehicle Graz) – CGB - comparison crash behavior

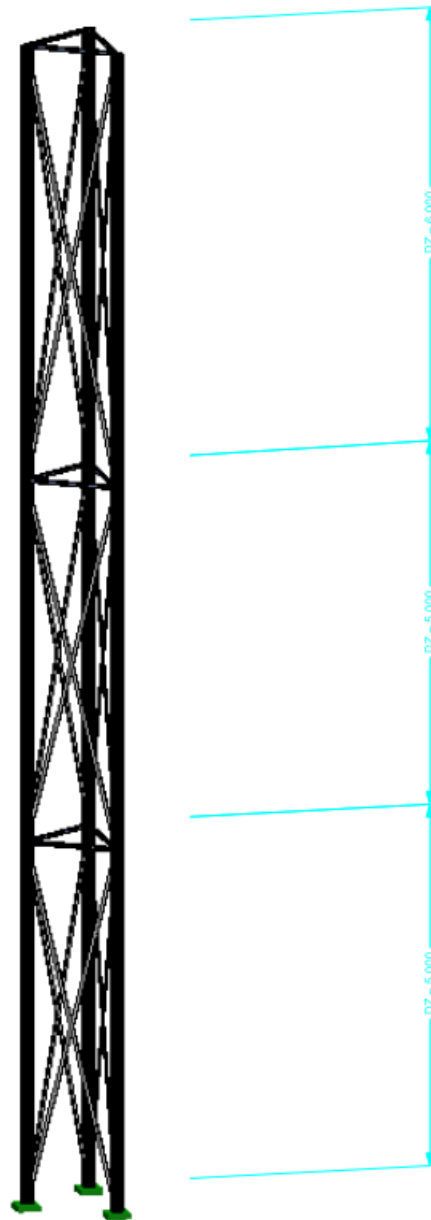


FRANGIBILITY - Tests August 2015 - movie

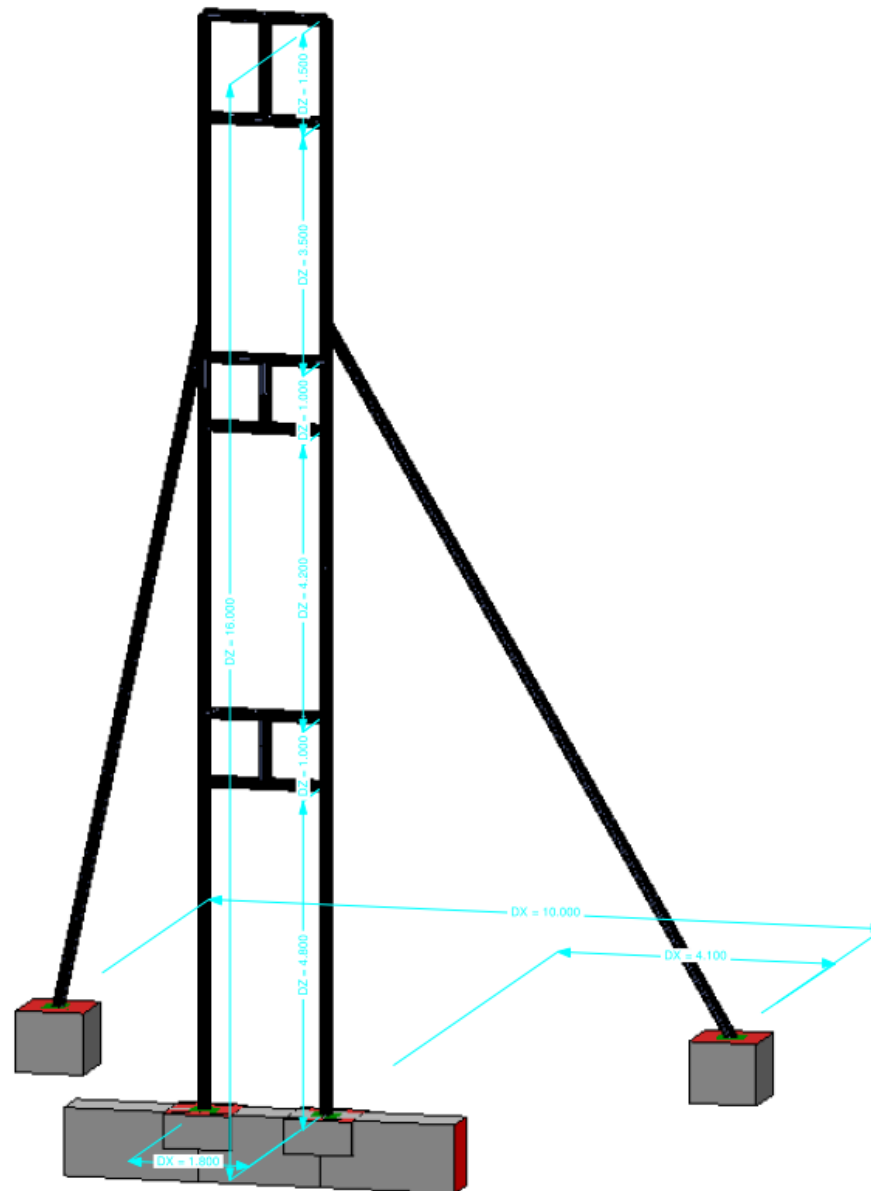


FRANGIBILITY DESIGN IDEAS

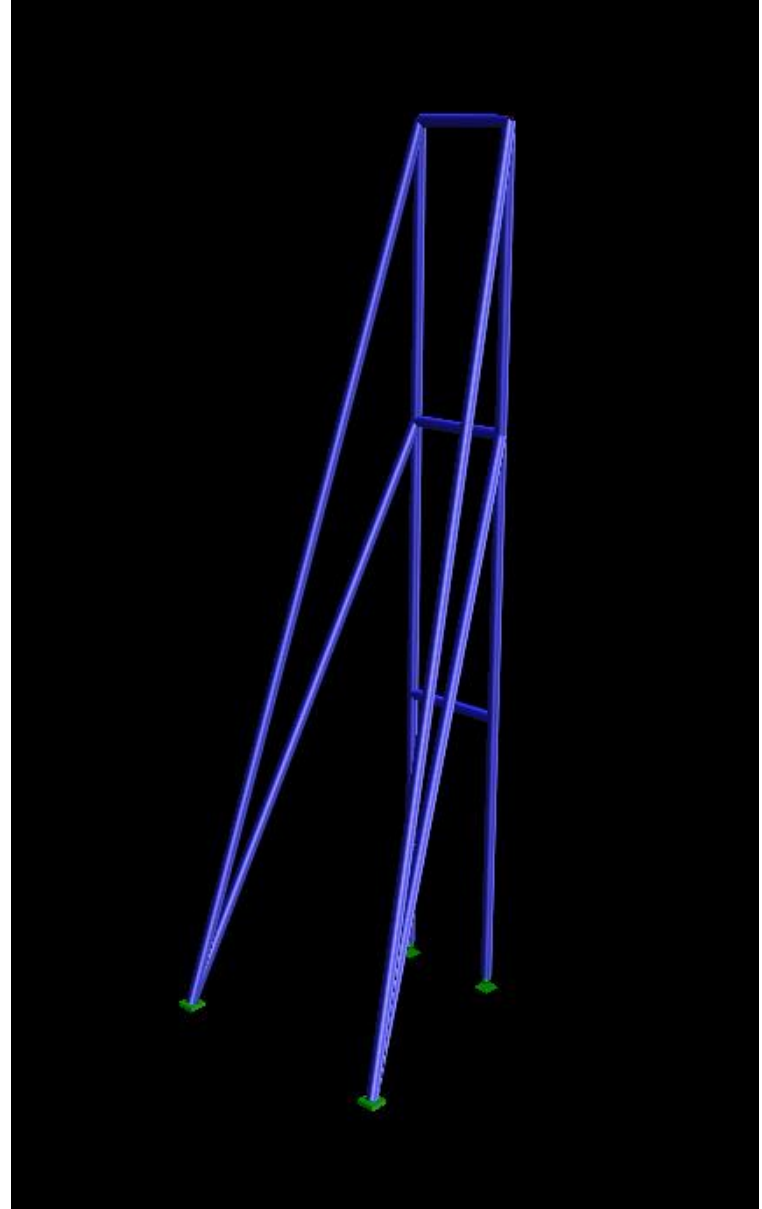
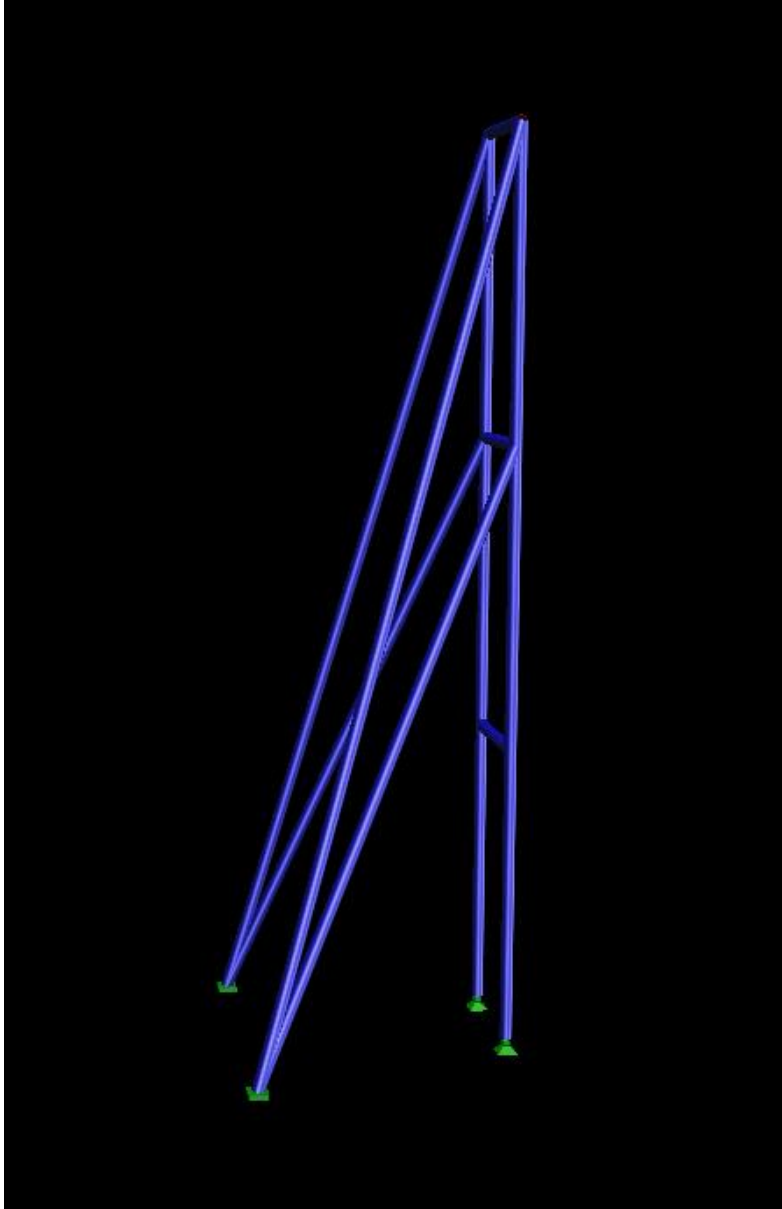
FRANGIBILITY DESIGN IDEAS



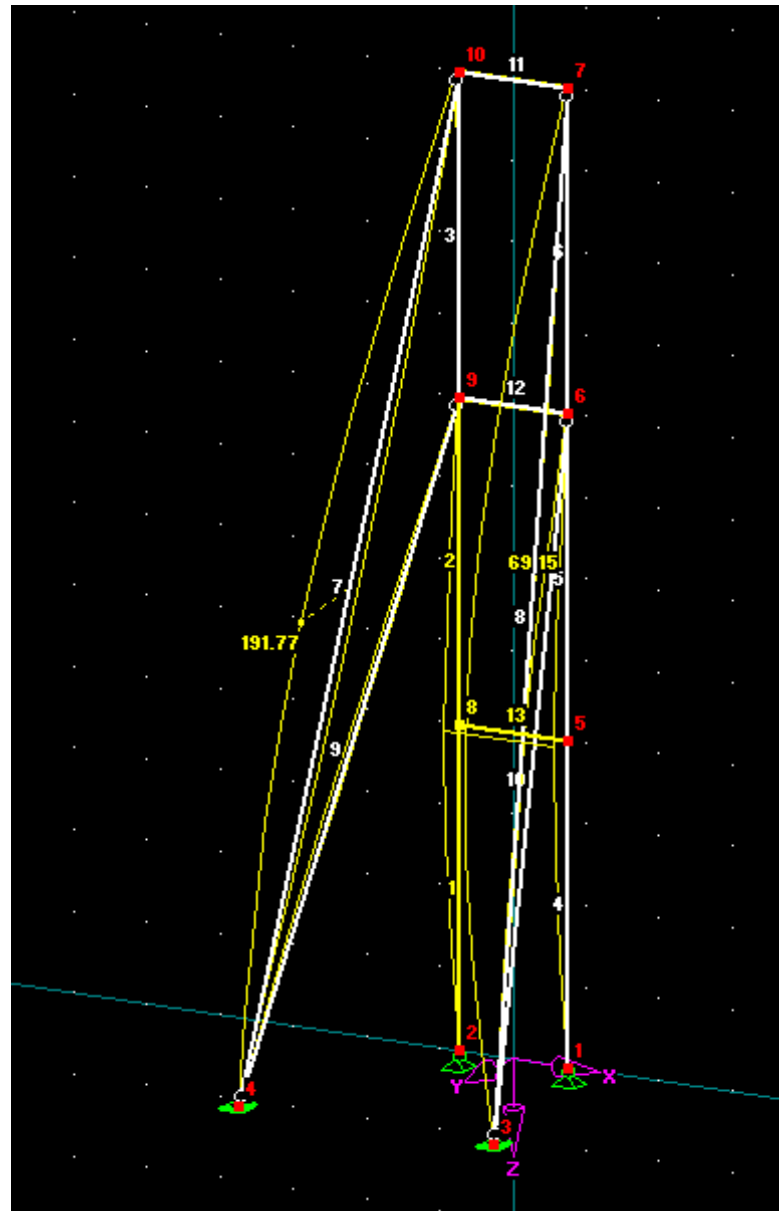
FRANGIBILITY DESIGN IDEAS



FRANGIBILITY DESIGN IDEAS



FRANGIBILITY DESIGN IDEAS



FINAL DESIGN

FINAL DESIGN - Safety factors along general standard

Tabelle E-1: Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte γ_M im Grenzzustand der Tragfähigkeit
(Vorschläge des Arbeitskreises)

Bedingungen	Grundkombination				Außergewöhnliche Bemessungssituationen			
	Festigkeit	örtliche Stabilität	Gesamtstabilität	Verbindungen	Festigkeit	örtliche Stabilität	Gesamtstabilität	Verbindungen
maschinell gefertigte Faserverbundwerkstoffe ($v=0,10$)	1,2	1,4	1,2	1,5	1,0	1,2	1,0	1,2
manuell gefertigte Faserverbundwerkstoffe ($v=0,17$)	1,5	2,0	1,4	2,0	1,25	1,7	1,25	1,7
Thermoplaste auf Zug	1,5*	-	-	-	1,25	-	-	-
Thermoplaste auf Druck	1,2*	1,4	1,2	1,4	1,0	1,2	1,0	1,2
Schaumstoffe auf Schub	1,5	1,7	1,2	1,7	-	-	-	-
Schaumstoffe auf Druck	1,2	1,4	1,2	1,4	-	-	-	-

v Variationskoeffizient

conditions	Basic combinations				Exceptional design situations			
	Strength	Local stability	Overall stability	Compounds	Strength	Local stability	Overall stability	Compounds
Fiber composites machined	1,2	1,4	1,2	1,5	1,0	1,2	1,0	1,2
Fiber composites manually crafted	1,5	2,0	1,4	2,0	1,25	1,7	1,25	1,7
Thermoplastics on train	1,5*				1,25			
Thermoplastics pressure	1,2*	1,4	1,2	1,4	1,0	1,2	1,0	1,0
Foam on thrust	1,5	1,7	1,2	1,7				
Foam on pressure	1,2	1,4	1,2	1,4				

*Werte des semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes wegen fehlender Angaben zur Häufigkeitsverteilung durch Vergleichsrechnungen mit globalen Sicherheitsfaktoren ermittelt.

FINAL DESIGN - Design proposal based on general standard and tests

Erfassung der Einsatzbedingungen (rechnerische Abminderung)

- Dauer der Einwirkung

Für die Mastlängsrichtung betragen die Einflussfaktoren A_1 :

$A_1^E = 1,4$ für den Elastizitätsmodul und

$A_1^f = 2,4$ für die Festigkeit.

Für die Mastquerrichtung betragen die Einflussfaktoren A_1 :

$A_1^E = 3,0$ für den Elastizitätsmodul und

$A_1^f = 2,4$ für die Festigkeit.

- Medieneinfluss

Für beide Richtungen betragen die Einflussfaktoren A_2 :

$A_2^E = A_2^f = 1,2$ für den Elastizitätsmodul und die Festigkeit.

- Temperatureinfluss

Für die Mastlängsrichtung betragen die Einflussfaktoren A_3 :

$A_3^E = 1,6$ für den Elastizitätsmodul bei Betriebstemperaturen $\leq 80^\circ\text{C}$
bzw.

$A_3^E = 1,2$ für den Elastizitätsmodul bei Betriebstemperaturen $\leq 40^\circ\text{C}$
und

$A_3^f = 1,6$ für die Festigkeit.

Für die Mastquerrichtung betragen die Einflussfaktoren A_3 :

$A_3^E = 1,8$ für den Elastizitätsmodul und

$A_3^f = 1,1$ für die Festigkeit.

Detecting the operating conditions (calculative reduction)

- Duration of exposure

For the pole longitudinal the influence factor A_1 is:

$A_1^E = 1,4$ for the modulus of elasticity and

$A_1^f = 2,4$ for resistance

For the pole tranverse the influence factor A_1 is:

$A_1^E = 3,0$ for the modulus of elasticity and

$A_1^f = 2,4$ for resistance

- Media influence

For both directions the influence factor A_2 is:

$A_2^E = A_2^f = 1,2$ for modulus of elasticity and resistance

- Temperature effect

For the pole longitudinal the influence factor A_3 is:

$A_3^E = 1,6$ for the modulus of elasticity at operating
temperatures $\leq 80^\circ\text{C}$

$A_3^E = 1,2$ for the modulus of elasticity at operating
temperatures $\leq 40^\circ\text{C}$

$A_3^f = 1,6$ for resistance

For the pole tranverse the influence factor A_3 is:

$A_3^E = 1,8$ for the modulus of elasticity and

$A_3^f = 1,1$ for resistance

Teilsicherheitsbeiwerte γ_M

Grundkombination			Außergewöhnliche Bemessungssituationen		
Festig- keit	örtliche Stabilität	Gesamt- stabilität	Festig- keit	örtliche Stabilität	Gesamt- stabilität
1,2	1,4	1,2	1,0	1,2	1,0

Basic combination			Exceptional design situations		
strength	local stability	overall stability	strength	local stability	overall stability
1,2	1,4	1,2	1,0	1,2	1,0

FINAL DESIGN - Design proposal for wind speeds

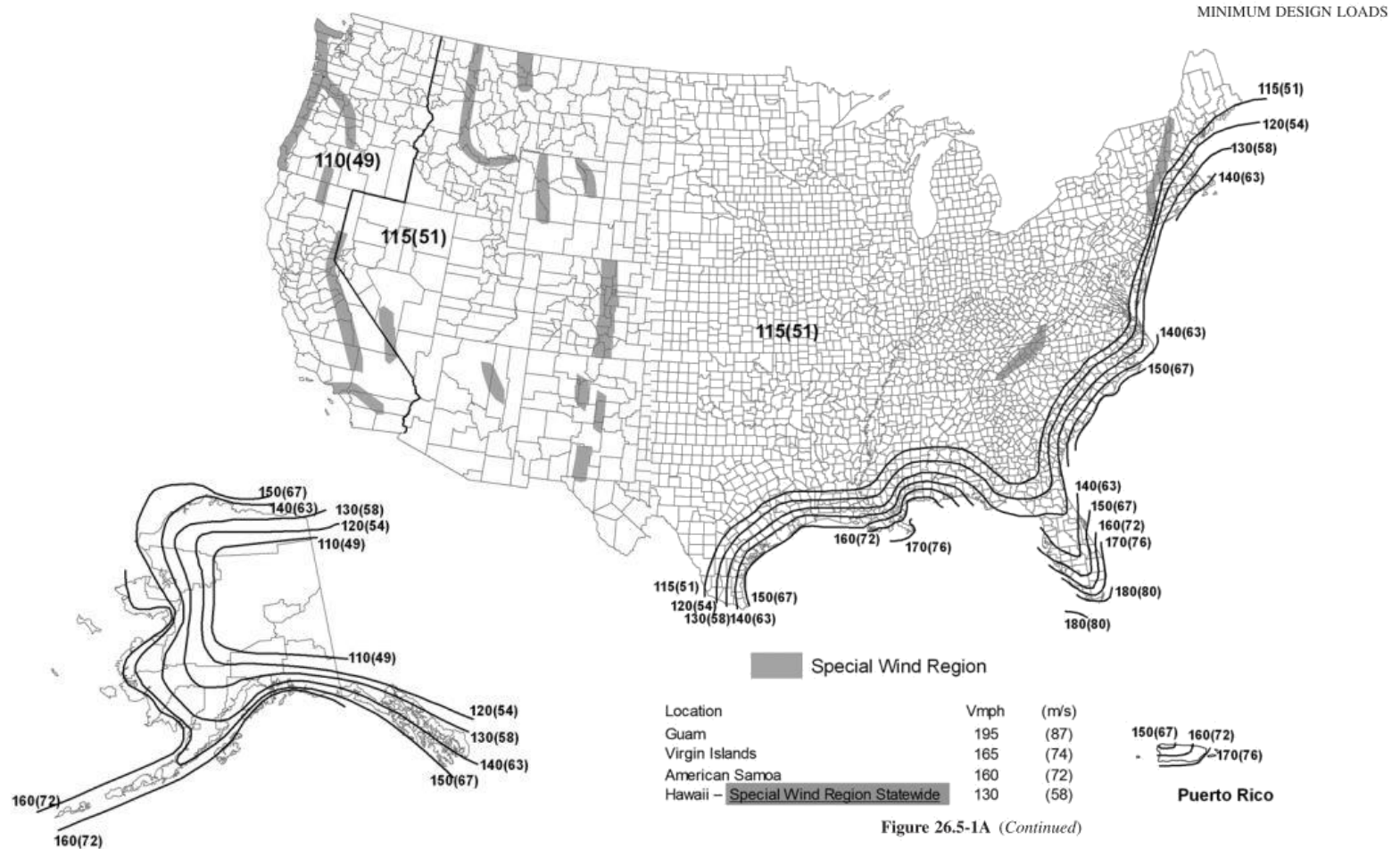


Figure 26.5-1A (Continued)

Figure 26.5-1A Basic Wind Speeds for Occupancy Category II Buildings and Other Structures.

Notes:

1. Values are nominal design 3-second gust wind speeds in miles per hour (m/s) at 33 ft (10m) above ground for Exposure C category.
2. Linear interpolation between contours is permitted.
3. Islands and coastal areas outside the last contour shall use the last wind speed contour of the coastal area.
4. Mountainous terrain, gorges, ocean promontories, and special wind regions shall be examined for unusual wind conditions.
5. Wind speeds correspond to approximately a 7% probability of exceedance in 50 years (Annual Exceedance Probability = 0.00143, MRI = 700 Years).

THANK YOU

EURO POLES

