



TORRO- und Fujita-Skala Beschreibung, angepasst für Mitteleuropa

N. Dotzek (TorDACH), M. Hubrig (Skywarn), G. Berz (Münchener Rück)

Die folgende verbale Zuordnung der T- und F-Skalen zu Ihrer Windwirkung (vgl. die **Definition** der Windgeschwindigkeitsintervalle in **Tab. 1**) ist an mitteleuropäische Verhältnisse (v a. Bausubstanz) angepasst und deckt sich daher nicht völlig mit den eher für die Gegebenheiten der USA gültigen Beschreibungen der F-Skala (Fujita und Pearson, 1973; Fujita, 1981) oder der T-Skala (Meaden, 1976). Die Skalenbegriffe *weak*, *strong*, *violent* gehen auf Kelly et al. (1978) zurück, ihre deutschen Entsprechungen auf Dotzek et al (2000, 2003).

Tab. 1: Definition der Windgeschwindigkeitsintervalle der T- und F-Skalen und der mittleren Schadensätze für Mitteleuropa. Zum Vergleich werden die entsprechenden Stufen der Beaufort-Skala mit angegeben, auch oberhalb des üblichen Höchstwerts von Bft 12. Nach Dotzek et al. (2000, 2003) und Hubrig (2004).

	Unterkritisch (<i>Sub-critical</i>)				Schwach (<i>Weak</i>)			
Fujita	F-2		F-1		F0		F1	
TORRO	T-4	T-3	T-2	T-1	T0	T1	T2	T3
Beaufort	B0, B1	B2, B3	B4, B5	B6, B7	B8, B9	B10, B11	B12, B13	B14, B15
v in ms^{-1}	0 - 3	3 - 7	7 - 12	12 - 18	18 - 25	25 - 33	33 - 42	42 - 51
v in kmh^{-1}	0 - 11	11 - 25	25 - 43	43 - 65	65 - 90	90 - 119	119 - 151	151 - 184
Δv in ms^{-1}	3	4	5	6	7	8	9	9
S in %	0.0	0.0	0.0	0.01	0.05	0.10	0.25	0.80
S₊ in %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.05	0.10	0.25
	Signifikant (<i>Significant</i>)							
	Stark (<i>Strong</i>)				Verheerend (<i>Violent</i>)			
Fujita	F2		F3		F4		F5	
TORRO	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Beaufort	B16, B17	B18, B19	B20, B21	B22, B23	B24, B25	B26, B27	B28, B29	B30, B31
v in ms^{-1}	51 - 61	61 - 71	71 - 82	82 - 93	93 - 105	105 - 117	117 - 130	130 - 143
v in kmh^{-1}	184 - 220	220 - 256	256 - 295	295 - 335	335 - 378	378 - 421	421 - 468	468 - 515
Δv in ms^{-1}	10	10	11	11	12	12	13	13
S in %	3.0	10.0	30.0	90.0	100	100	100	100
S₊ in %	0.80	3.0	10.0	30.0	60.0	80.0	90.0	95.0



Die Zuordnung der Sachschäden zum für Mitteleuropa repräsentativen mittleren Schadensatz (*loss ratio*) *S* für Bauten in Leicht- (*S*) oder Massivbauweise (*S+*) in **Tab. 1** und im Text erfolgte in Zusammenarbeit mit der Münchener Rückversicherung nach Dotzek et al. (2000). Die Zuordnung charakteristischer Flurschäden beruht auf Arbeiten von Hubrig (1999, 2002, 2004). Gegenüber den zitierten Arbeiten wurde die verbale Beschreibung hier nochmals durchgesehen und leicht modifiziert.

Als weitere Methode, bei Gebäuden aus den vorliegenden Schäden und dem Gebäudetyp auf die Windgeschwindigkeit nach der F-Skala zu schließen, ist die f-Skala Matrix verwendbar (Fujita, 1992). **Tab. 2** fasst dieses Verfahren zusammen. Der beobachtete Schaden wird in der oberen Zeile einem Wert *f_n* der f-Skala zugeordnet. Dieser Wert wird im unteren Teil der **Tab. 2** in der Zeile des zutreffenden Gebäudetyps aufgesucht. In der gleichen Spalte oberhalb liest man den zugehörigen Wert der F-Skala ab. Der Zahlenwert hinter dem Gebäudetyp gibt die Verschiebung von f- zu F-Skala an. **Beispiel:** Ein solides Stallgebäude (*strong outbuilding*) ist zusammen gebrochen (f4 Schaden). Für diesen Gebäudetyp findet man f4 in der Spalte unter F2 wieder. Es liegt also eine Skalenverschiebung von -2 vor (f4 - 2 = F2). Dieser Wert findet sich in **Tab. 2** direkt nach der Angabe *strong outbuilding*. Beim Gebäudetyp "solides Holzhaus" (*strong framehouse*) sind die f- und F-Skalen deckungsgleich.

Tab. 2: Die f-Skala Matrix (Fujita, 1992). Aus Gebäudetyp und vorliegendem Gebäudeschaden *f_n* folgt der wahrscheinlichste Wert auf der F-Skala. *Outbuilding* = Neben- oder Wirtschaftsgebäude, also z. B. Schuppen oder Stallungen. *Framehouse* = Holzhaus. *Brick structure* = Ziegelbau. *Concrete building* = (Stahl-)Betonbau.

Damage: f scale	Little Damage	Minor Damage	Roof Gone	Walls Collapse	Blown Down	Blown Away	
	f0	f1	f2	f3	f4	f5	
Windspeed: F scale	18 m/s F0 65 km/h	33 F1 119	51 F2 184	71 F3 256	93 F4 335	117 F5 421	143 515
To convert f scale into F scale, add the appropriate number ↓							
Weak Outbuilding	-3	f3	f4	f5	f5	f5	f5
Strong Outbuilding	-2	f2	f3	f4	f5	f5	f5
Weak Framehouse	-1	f1	f2	f3	f4	f5	f5
Strong Framehouse	0	F0	F1	F2	F3	F4	F5
Brick Structure	1	-	f0	f1	f2	f3	f4
Concrete Building	2	-	-	f0	f1	f2	f3

Es folgt die verbale Beschreibung für Mitteleuropa typischer Sach- und Flurschäden von T-4 bis T12.



T-4 / F-2, unterkritisch (sub-critical)

a) Sachschäden: Schadensätze $S. = 0.00 \%$, $S_+ = 0.00 \%$

Keine.

b) Flurschäden:

Eventuell ab gewehrte Blätter, grüne Zweige oder kleinere Totäste lassen sich nicht von zufälligen Trockenheits- oder durch starken Niederschlag bedingten Blattabfällen, Zweigabsprüngen oder Totastabbrüchen unterscheiden.

T-3 / F-2, unterkritisch (sub-critical)

a) Sachschäden: Schadensätze $S. = 0.00 \%$, $S_+ = 0.00 \%$

Keine.

b) Flurschäden:

Eventuell ab gewehrte Blätter, grüne Zweige oder kleinere Totäste lassen sich nicht von zufälligen Trockenheits- oder durch starken Niederschlag bedingten Blattabfällen, Zweigabsprüngen oder Totastabbrüchen unterscheiden.

T-2 / F-1, unterkritisch (sub-critical)

a) Sachschäden: Schadensätze $S. = 0.00 \%$, $S_+ = 0.00 \%$

Keine.

b) Flurschäden:

Eventuell ab gewehrte Blätter, grüne Zweige oder Totäste lassen sich nicht einwandfrei von zufälligen Trockenheits- oder durch starken Niederschlag bedingten Blattabfällen, Zweigabsprüngen oder Totastabbrüchen unterscheiden.

T-1 / F-1, unterkritisch (sub-critical)

a) Sachschäden: Schadensätze $S. = 0.01 \%$, $S_+ = 0.00 \%$

Leichte Gegenstände werden vom Boden abgehoben.

b) Flurschäden:

In Wiesen oder Getreidefeldern ist der Zugweg erkennbar. Einzelne Grünzweige und kleinere Grünäste, sowie vermehrt kleinere, aber auch mittlere und vereinzelt auch größere Totäste beginnen abzubrechen. Die Astabbrüche sind - aufgrund der geringen Häufigkeit - noch nicht immer einwandfrei von zufälligen Trockenheits- oder durch starken Niederschlag bedingten Blattabfällen, Zweigabsprüngen oder Totastabbrüchen zu unterscheiden.



T0 / F0, schwach (weak)

a) Sachschäden: Schadensätze $S = 0.05 \%$, $S_+ = 0.01 \%$

Leichte Gegenstände werden vom Boden abgehoben. Baugerüste können umstürzen, leichte Schäden an Markisen und Zelten auftreten. Dachziegel an exponierten Stellen können sich lockern. Keine Schäden an Gebäude-Tragwerken.

b) Flurschäden:

Einzelne Äste beginnen abzubrechen, in Wiesen oder Getreidefeldern ist der Zugweg erkennbar. Kranke (z. B. Holzfäulen) oder besonders labile Bäume (lange dünne Stämme; hoch angesetzte Krone; geringes, flaches Wurzelwerk) können brechen oder entwurzelt werden (bei Wurzelfäulen oder auf labilen, durchnässten Standorten).

T1 / F0, schwach (weak)

a) Sachschäden: Schadensätze $S = 0.10 \%$, $S_+ = 0.05 \%$

Gartenmöbel und leichtere Gegenstände werden umgeworfen und können durch die Luft gewirbelt, Holzzäune umgeworfen werden. Leichte Schäden an Dächern (Ziegeln und Verblechungen können sich lösen und herab geweht werden). Geringe Schäden an Leichtbauten; keine strukturellen Schäden.

b) Flurschäden:

Auch starke und gesunde Äste brechen vermehrt, insbesondere während der Vegetationszeit (Laubbäume belaubt). Kranke (z. B. Holzfäulen) oder besonders labile Bäume (lange, dünne Stämme, hoch angesetzte Krone, geringes, flaches Wurzelwerk) brechen häufig oder werden entwurzelt. Bäume mit Wurzelschäden oder -fäulen bzw. auf labilen, durchnässten Standorten werden häufig geworfen.

T2 / F1, schwach (weak)

a) Sachschäden: Schadensätze $S = 0.25 \%$, $S_+ = 0.10 \%$

Auch schwerere Gegenstände werden vom Boden aufgehoben und können zu gefährlichen Geschossen werden. Wohnwagen und Anhänger können umgeworfen werden. Ziegel- und ungesicherte Flachdächer werden teilweise abgedeckt. Geringe bis mittelschwere Schäden an Leichtbauten; erste Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten möglich.

b) Flurschäden:

Zahlreiche auch starke und gesunde Äste brechen, insbesondere während der Vegetationszeit (Laubbäume belaubt). Bäume mit Holzfäulen oder sonstigen statisch relevanten Schäden, labile Bäume (ungünstige H/D-Werte¹, geringes oder flaches Wurzelwerk) oder Bäume auf labilen Böden (Stauwasser beeinflusst oder grundwassernah) werden nahezu immer gebrochen oder entwurzelt.

¹ H/D-Wert: Verhältnis Baumhöhe zu Brusthöhendurchmesser, d. h. dem Durchmesser des Stammes in 1.30 m Höhe über dem Erdboden. H/D-Werte von 60 oder weniger gelten als stabil, über 80 als instabil.



Auch gesunde Bäume können im Falle ungünstiger Stoßrichtungen oder Zeitpunkte der Böen bereits gebrochen oder auf durchweichten Böden geworfen werden. Während der Zeit des Saftstromes treten an Bäumen mit stabiler Verwurzelung, aber labileren Stämmen häufiger Druckschäden auf.

T3 / F1, schwach (weak)

a) Sachschäden: Schadensätze $S = 0.80 \%$, $S_+ = 0.25 \%$

Zahlreiche Wohnwagen und Anhänger werden umgeworfen. Ziegel- und ungesicherte Flachdächer erleiden größere Schäden. Mittelschwere Schäden an Leichtbauten; einzelne Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Fahrende Autos werden von der Straße gedrückt.

b) Flurschäden:

Zahlreiche Äste, auch starke und gesunde brechen; auch außerhalb der Vegetationszeit, in der Laubbäume unbelaubt sind. Auch stabile und gesunde Bäume werden vermehrt geworfen oder bereits gebrochen. Während der Zeit des Saftstromes sind Druckschäden relativ häufig. Bereits erhebliche Schäden in stabilen Waldbeständen, wobei die stabilsten Individuen, aber auch Zwischen- und Unterständige, die nur wenig Windwiderstand bieten, überwiegend noch stehen bleiben.

T4 / F2, stark (strong)

a) Sachschäden: Schadensätze $S = 3.0 \%$, $S_+ = 0.80 \%$

Große Schäden an Fahrzeugen und Anhängern. Hohe Gefährdung und Schäden durch herum fliegende Teile. Ganze Dächer werden abgedeckt. Schwere Schäden an Leichtbauten; zunehmend Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten, Einsturz von Giebelwänden möglich.

b) Flurschäden:

Auch stabile Bäume oder Waldbestände werden fast immer bzw. vollständig geworfen oder gebrochen. Großkronige Bäume werden, sofern besonders stabil verwurzelt, meistens gebrochen. Sofern Bäume noch stehen bleiben, wird die überwiegende Anzahl der Äste, auch die in unbelaubtem Zustand, abgerissen. Der Anteil an Druckschäden geht zugunsten gebrochener Bäume stark zurück.

T5 / F2, stark (strong)

a) Sachschäden: Schadensätze $S = 10.0 \%$, $S_+ = 3.0 \%$

Schwere Schäden an Dächern und Anbauten sowie an Leichtbauten. Weiter zunehmende Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Vollständiger Einsturz einzelner Gebäude, vor allem landwirtschaftlich genutzter Konstruktionen und Lagerhallen. Kraftfahrzeuge werden hochgehoben.

b) Flurschäden:

Auch stabilste Gehölze, wie Randbäume, Wind erprobte Hecken, Büsche und Feldgehölze werden stark geschädigt oder bereits zerstört; entweder durch Entwurzeln (Herausreißen), Stamm- oder Kronenbruch oder durch Abreißen der überwiegenden Zahl der Äste, insbesondere fast allen Feinreisigs.



T6 / F3, stark (strong)

a) Sachschäden: Schadensätze $S = 30.0 \%$, $S_+ = 10.0 \%$

Leichtbauten werden in größerem Umfang zerstört. Schwere Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Einsturz einzelner Gebäude. Schwere Kraftfahrzeuge werden hochgehoben und umgeworfen.

b) Flurschäden:

Kein heimisches Holzgewächs übersteht - falls der Stamm stehen bleibt - solch einen Sturm ohne schwerste Schäden. Stehen bleibende Bäume werden weitgehend entastet.

T7 / F3, stark (strong)

a) Sachschäden: Schadensätze: $S = 90.0 \%$, $S_+ = 30.0 \%$

Verbreitet völlige Zerstörung von Leichtbauten und schwere Schäden an Massivbauten. Einsturz zahlreicher Gebäude.

b) Flurschäden:

Kein heimisches Holzgewächs übersteht - falls der Stamm stehen bleibt - solch einen Sturm ohne schwerste Schäden. Stehen bleibende Bäume oder Baumteile werden weitgehend entastet, und stellenweise beginnt Entrindung durch umher fliegende Kleintrümmer sowie Sand etc.

T8 / F4, verheerend (violent)

a) Sachschäden: Schadensätze: $S = 100 \%$, $S_+ = 60.0 \%$

Schwere Schäden an Massivbauten. Verbreiteter Einsturz von Gebäuden, deren Einrichtung weit verstreut wird. Kraftfahrzeuge werden über große Strecken geschleudert.

b) Flurschäden:

Deutliche Entrindung stehen bleibender Baumstämme oder Baumteile durch umher fliegende Kleintrümmer sowie Sand etc.

T9 / F4, verheerend (violent)

a) Sachschäden: Schadensätze $S = 100 \%$, $S_+ = 80.0 \%$

Überwiegend Totalschäden an Massivbauten. Züge werden von den Schienen gerissen.

b) Flurschäden:

Totale Entrindung stehen bleibender Baumstämme oder Baumteile durch umher fliegende Kleintrümmer sowie Sand etc.



T10 / F5, verheerend (violent)

a) Sachschäden: Schadensätze $S = 100 \%$, $S_+ = 90.0 \%$
Überwiegend Totalschäden an Massivbauten.

b) Flurschäden:

Totale Entrindung stehen bleibender Baumstämme oder Baumteile durch umher fliegende Kleintrümmer sowie Sand etc. Ungewöhnliche Schäden wie das Herausreißen und weites Verdriften von starken, aber bereits morschen Wurzelstöcken abgesägter Bäume entstehen.

T11 / F5, verheerend (violent)

a) Sachschäden: Schadensätze $S = 100 \%$, $S_+ = 95.0 \%$
Fast ausschließlich Totalschäden an Massivbauten. Unvorstellbare Schäden entstehen.

b) Flurschäden:

Totale Entrindung stehen bleibender Baumstämme oder Baumteile durch umher fliegende Kleintrümmer sowie Sand etc. Ungewöhnliche Schäden wie das Herausreißen und weites Verdriften auch weniger morscher, starker und tief in die Erde reichender Wurzelstöcke abgesägter Bäume entstehen.

T12 / F6, überverheerend (super-violent)

a) Sachschäden: Schadensätze $S = 100 \%$, $S_+ = 99.0 \%$
Ausschließlich Totalschäden an Massivbauten. Unvorstellbare Schäden entstehen.

b) Flurschäden:

Totale Entrindung stehen bleibender Baumstümpfe durch umher fliegende Kleintrümmer sowie Sand etc. Ungewöhnliche Schäden wie das Herausreißen und weite Verdriften auch kaum morscher, starker und tief in die Erde reichenden Wurzelstöcken abgesägter Bäume entstehen.

Windgeschwindigkeiten von T13 / F6 sind aus physikalischen Gründen ausgeschlossen!

Die ursprüngliche Version dieses Dokuments datiert vom April 2004.



Literatur

- Dotzek, N., G. Berz, E. Rauch, R. E. Peterson, 2000: Die Bedeutung von Johannes P. Letzmanns "Richtlinien zur Erforschung von Tromben, Tornados, Wasserhosen und Kleintromben" für die heutige Tornadoforschung. *Meteor. Zeitschr.*, **9**, 165-174.
- Dotzek, N., J. Grieser, H. E. Brooks, 2003: Statistical modeling of tornado intensity distributions. *Atmos. Res.*, **67-68**, 163-187.
- Fujita, T. T., 1981: Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1511-1534.
- Fujita, T. T., 1992: *Mystery of Severe Storms*. Chicago University Press, Chicago, 298 S.
- Fujita, T. T., A. D. Pearson, 1973: Results of FPP classification of 1971 and 1972 tornadoes. *Proc. 8th Conf. on Severe Local Storms*, Denver, 142-145.
- Hubrig, M., 1999: *Dokumentation der Sturmschäden vom 29. 6. 1997 in Niedersachsens Wäldern durch "Schwere lokale Stürme"*. Aus dem Walde, Mitt. d. Niedersächsischen Landesforstverwaltung, **52** I, 4-139.
- Hubrig, M., 2002: Tornado- und Downburst-Schadenskala für Holzgewächse, basierend auf der Skalierung nach TORRO, angepasst für Mitteleuropa (TorDACH). In: Tetzlaff, G., T. Trautmann, und K. S. Radtke (Hrsg.), 2002: *Zweites Forum Katastrophenvorsorge. Extreme Naturereignisse - Folgen, Vorsorge, Werkzeuge*, Leipzig, 24-26 September 2001, 463 S., 179-186.
- Hubrig, M., 2004: *Analyse von Tornado- und Downburst-Windschäden an Bäumen*. Forst und Holz, **59**, 78-84.
- Kelly, D. L., J. T. Schaefer, R. P. McNulty, C. A. Doswell, R. F. Abbey, Jr., 1978: An augmented tornado climatology. *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1172-1183.
- Meaden 1976: G. T., 1976: Tornadoes in Britain: Their intensities and distribution in space and time. *J. Meteor.*, **1**, 242-251.