

Windeinflüsse bei Kranbetrieb



Schulungsunterlage

LIEBHERR

Impressum:

3. Auflage 2012
Liebherr-Werk Ehingen GmbH
Dr.-Hans-Liebherr-Straße 1
D-89582 Ehingen/Donau
www.liebherr.com
Schulungszentrum.LWE@liebherr.com

Alle Rechte vorbehalten.



Wenn der Wind weht.

Wo Menschen arbeiten, werden Fehler gemacht. Gerade bei Kranarbeiten können die Windverhältnisse ein nicht zu unterschätzendes Gefahrenpotenzial darstellen. Der Kranführer hat dafür zu sorgen, dass der Kran keinem Wind ausgesetzt wird, welcher über die vom Kranhersteller festgelegten Grenzen hinaus geht. Ebenso müssen rechtzeitig die richtigen Entscheidungen und Maßnahmen getroffen werden. Spätestens bei Erreichen der für den Kran kritischen Windgeschwindigkeit.

Besteht Gefahr, so hat der Kranführer die Maßnahmen durchzuführen, die vom Unternehmer jeweils festgelegt worden sind. Der Kranfahrer entscheidet somit im Ernstfall vor Ort, ob der Wind zu stark ist und die Arbeit eingestellt werden muss. Daher ist es wichtig, vor einem großräumig aufziehenden und länger anhaltenden Sturm rechtzeitig gewarnt zu werden. Besonders gefährlich sind jedoch auch lokal auftretende Sturmböen, wie sie beispielsweise im Zusammenhang mit kräftigen Schauern und Gewittern auftreten können.

Die vorliegende Schulungsunterlage dient der Information von Kranfahrern, Projektplanern sowie Kranunternehmern und soll exemplarisch Handlungsoptionen bei Kranbetrieb unter Windeinfluss aufzeigen. Zu Beginn führen wir Sie in die Grundlagen der Windlast ein. Im weiteren Verlauf zeigen wir auf, wie Windlasten und schließlich spezielle Lastfälle wie z.B. beim Aufstellen von Windkraftanlagen ermittelt werden können. Ebenfalls zeigen wir Ihnen welche Informationen hierfür benötigt werden.

Wir haben die vorliegende Unterlage so konzipiert, dass sich der Leser die relevanten Sachverhalte je nach Wissensstand auch im Selbststudium aneignen kann. Beispiele und Aufgabenstellungen dienen der Veranschaulichung und geben Gelegenheit zum Üben. Darüber hinaus finden Sie nützliche Hinweise und Hilfsmittel für die tägliche Arbeit mit dem Kran. Die Schulungsunterlage hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit und ersetzt nicht die Betriebsanleitung und das Traglasttabellenbuch für den jeweiligen Liebherr-Kran. Wir können hier nur zur Vorsicht bei der Arbeit mit Großgeräten mahnen und unsere über 40-jährige Erfahrung als führender Kranhersteller einbringen.

Liebherr-Werk Ehingen GmbH



Wie soll mit diesem Dokument gearbeitet werden?



Zeichenerklärung

Frage zum Lernstoff im vorigen Abschnitt. (Vergleichen Sie Ihre eigenen Antworten mit der Lösung am Ende des Dokuments)



Wichtiger Hinweis/ Information zum aktuellen Thema.



Kennzeichnet eine gefährliche Situation zum aktuellen Thema.

Anmerkungen: Die linke und rechte Spalte jeder Seite dient zur Eintragung persönlicher Anmerkungen zum Lernstoff. Diese eigenen Notizen sollen, gemeinsam mit den bereits vorgegebenen, dem Verständnis und der Wiederholung dienen.

Arbeitsanleitung:

- Lesen Sie zunächst den Text eines Kapitels aufmerksam durch.
- Wiederholen Sie den Inhalt des jeweiligen Kapitels mit Hilfe der gedruckten und der eigenen Randbemerkungen.
- Beantworten Sie die am Ende des Kapitels gestellten Fragen (möglichst ohne nachzusehen)
- Die Lösungen auf die jeweiligen Fragen finden Sie am Ende des Dokuments.
- Ist Ihnen die Beantwortung der Fragen noch nicht möglich, ohne im Text nachzusehen, arbeiten Sie das Kapitel nochmals durch.
- Gehen Sie erst dann zum Studium des nächsten Kapitels über.
- Überprüfen Sie am Ende des Dokuments, ob Sie die hier angeführten Lernziele erreicht haben.

Lernziele:

Nachdem Sie dieses Dokument durchgearbeitet haben, sollen Sie:

- die verschiedenen Windeinflüsse bei Kranbetrieb kennen
- die Fachbegriffe zur Windkraftberechnung nennen können
- die Windlast für einen Standardlastfall und einen speziellen Lastfall berechnen können



Inhaltsverzeichnis

1. Einführung und Problemstellung	7
1. 1 Windeinfluss auf den Kran und die Last	8
1. 2 Übungen	11
2. Grundwissen „Wind“	12
2. 1 Beaufortskala	12
2. 2 Windböen und Rauigkeit	15
2. 3 Wind- und Wetterinformationen	18
2. 3. 1 Höhenabhängige Windgeschwindigkeit	19
2. 4 Übungen	20
3. Exkurs – Schema einer Windkraftanlage	21
4. Faktoren der Windkraftberechnung	23
4. 1 Vorhandene Werte abfragen	23
4. 1. 1 Gewicht der Hublast (m_H)	23
4. 1. 2 maximale Projektionsfläche (A_p)	23
4. 1. 3 c_w -Wert	24
4. 1. 4 aktuelle Windgeschwindigkeit (v_{act})	24
4. 2 Nicht vorhandene Werte ermitteln bzw. berechnen	26
4. 2. 1 Windangriffsfläche (A_w)	26
4. 2. 2 Zulässige Windgeschwindigkeit aus Traglasttabellenbuch	26
4. 2. 3 Staudruck (p)	27
4. 2. 4 Windbelastung (F_w)	27
4. 3 Übungen	27
5. Bestimmung der zulässigen Windgeschwindigkeit	28
5. 1 Methode (1): Windkraftdiagramm	28
5. 1. 1 Beispiel zur Ermittlung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen Standard-Lastfall	29
5. 1. 2 Beispiel zur Ermittlung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen speziellen Lastfall	29
5. 2 Methode (2): Formel	34
5. 2. 1 Beispiel zur Berechnung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen Standard-Lastfall	34
5. 2. 2 Beispiel zur Berechnung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen speziellen Lastfall	34
5. 3 Übungen	35



6. Schlussbemerkung	37
7. Anhang	38
7. 1 Liebherr-Krane in der Windenergie	38
7. 1. 1 Aktuelle Mobilkrane (2012).....	38
7. 1. 2 Aktuelle Teleskop-Raupenkrane (2012)	39
7. 1. 3 Aktuelle Raupenkrane (2012).....	40
7. 1. 4 Aktuelle Gittermastkrane (2012).....	42
7. 2 Lösungen zu den Übungen	43
7. 3 Originalauszug aus der Norm: EN 13000.....	45

Begriffsdefinition

N	Newton (Einheit für die Kraft)
c_w	Windwiderstandsbeiwert (Strömungswiderstandskoeffizient)
A_p	Projektionsfläche eines Körpers (m^2)
A_w	Windangriffsfläche (m^2)
v_{max}	maximal zulässige 3-Sekunden-Böengeschwindigkeit (m/s) in maximaler Hubhöhe.
v_{max_TAB}	maximal zulässige 3-Sekunden-Böengeschwindigkeit (m/s) in maximaler Hubhöhe, die für die Traglastwerte in der Traglasttabelle angegeben werden.
v_{act}	aktuelle gemessene Windgeschwindigkeit (m/s).
$v(z)$	Über einen Zeitraum von 3 Sekunden gebildeter Mittelwert der Wind- geschwindigkeit in einer Höhe z über dem Boden (m/s).
p	Staudruck (Druck auf einen Körper infolge Windanströmung in N/m^2)
F_w	Windbelastung (Krafteinwirkung auf einen Körper infolge Windanströmung)
m_H	Hublast (t) (inkl. Anschlagmittel und Hakenflasche und evtl. Hubseilanteils). Die Hublast darf maximal den Tabellenwert der Traglasttabelle erreichen.



1. Einführung und Problemstellung

Häufig sind Wind und auftretende Windböen ein unterschätzter Faktor bei Unfällen mit einem Mobil- oder Raupenkran. Beim Heben von Lasten mit großen Windangriffsflächen wie z.B. Rotorblättern oder vollständigen Rotoren von Windkraftanlagen (WKA) kommt es vor, dass die von der EN 13000 vorgegebenen Standardwerte (vgl. Anhang Kap. 7.3), welche die Grundlage für die Berechnung des Kranes sind, deutlich überschritten werden können.

Solche Standardwerte sind beispielsweise der sogenannte **Windwiderstandsbeiwert** (c_w) oder der Wert zur Berechnung der sogenannten **Projektionsfläche** einer Last. Beide Werte zusammen geben schließlich Auskunft über die tatsächliche **Windangriffsfläche** einer Last. Gerade bei großflächigen Lasten (spezielle Lastfälle) kann dann die in den Traglasttabellen angegebene Windgeschwindigkeit für die Arbeit mit dem Kran ungültig werden. Eine neue, gegenüber der ursprünglich zugelassenen Windgeschwindigkeit, niedrigere Windgeschwindigkeit muss für diesen speziellen Lastfall ermittelt werden.

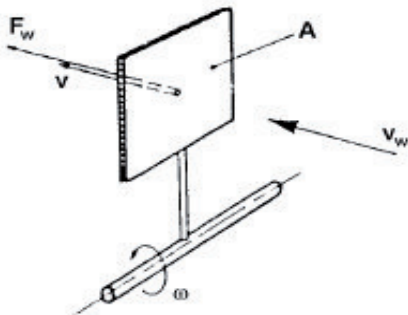


Bild 1: Widerstandsprinzip

Welche Rolle spielt der Wind bei der Überschreitung dieser Standardwerte?

Trifft Wind auf eine Fläche auf, erzeugt er eine Kraft (**Widerstandskraft**) auf diese Fläche, die in der Windrichtung wirkt.

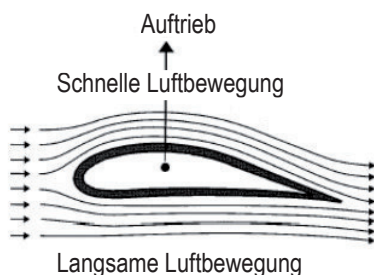


Bild 2: Auftriebsprinzip

Bei einer Tragfläche oder einem Rotor wirkt zusätzlich die sogenannte **Auftriebskraft**. Die Fläche/Länge an der Oberseite eines Flügels ist größer als die der Unterseite. Die Luft an der Oberseite muss sich deshalb schneller bewegen als an der Unterseite. Daraus resultieren ein Unterdruck an der Oberseite und ein Überdruck auf der Unterseite. Auf Grund der so entstehenden Auftriebskraft wird der Flügel nach oben gedrückt.

Die Kraft des Windes wirkt also auf eine Last. Dies kann be- oder entlastend wirken. Auslöser hierfür ist das sogenannte **Widerstandsprinzip** und das **Auftriebsprinzip**.

Windeinfluss auf die Last

Widerstandsprinzip

Auftriebsprinzip



1. 1 Windeinfluss auf den Kran und die Last

In ähnlicher Art und Weise trifft dies auch für den Kran zu:



Bild 3: Wind von vorne und hinten

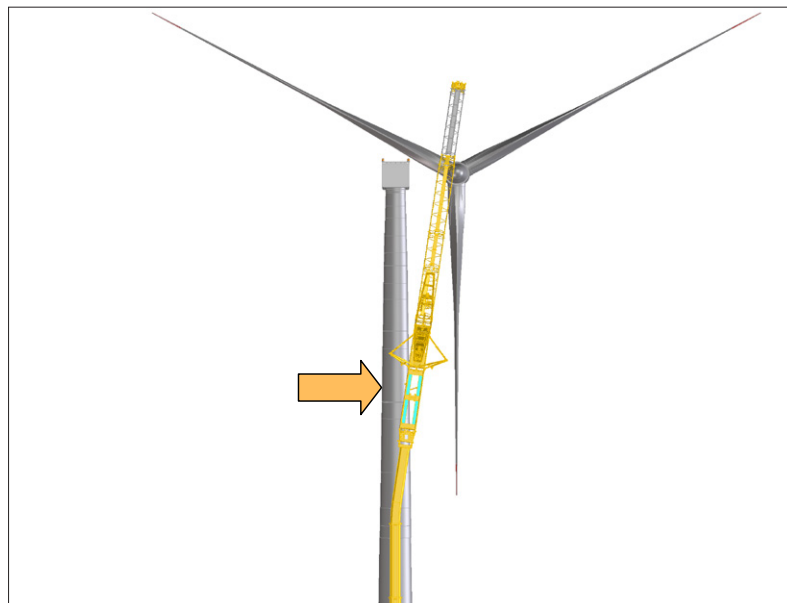


Bild 4: Wind von der Seite



Unfallgefahr!

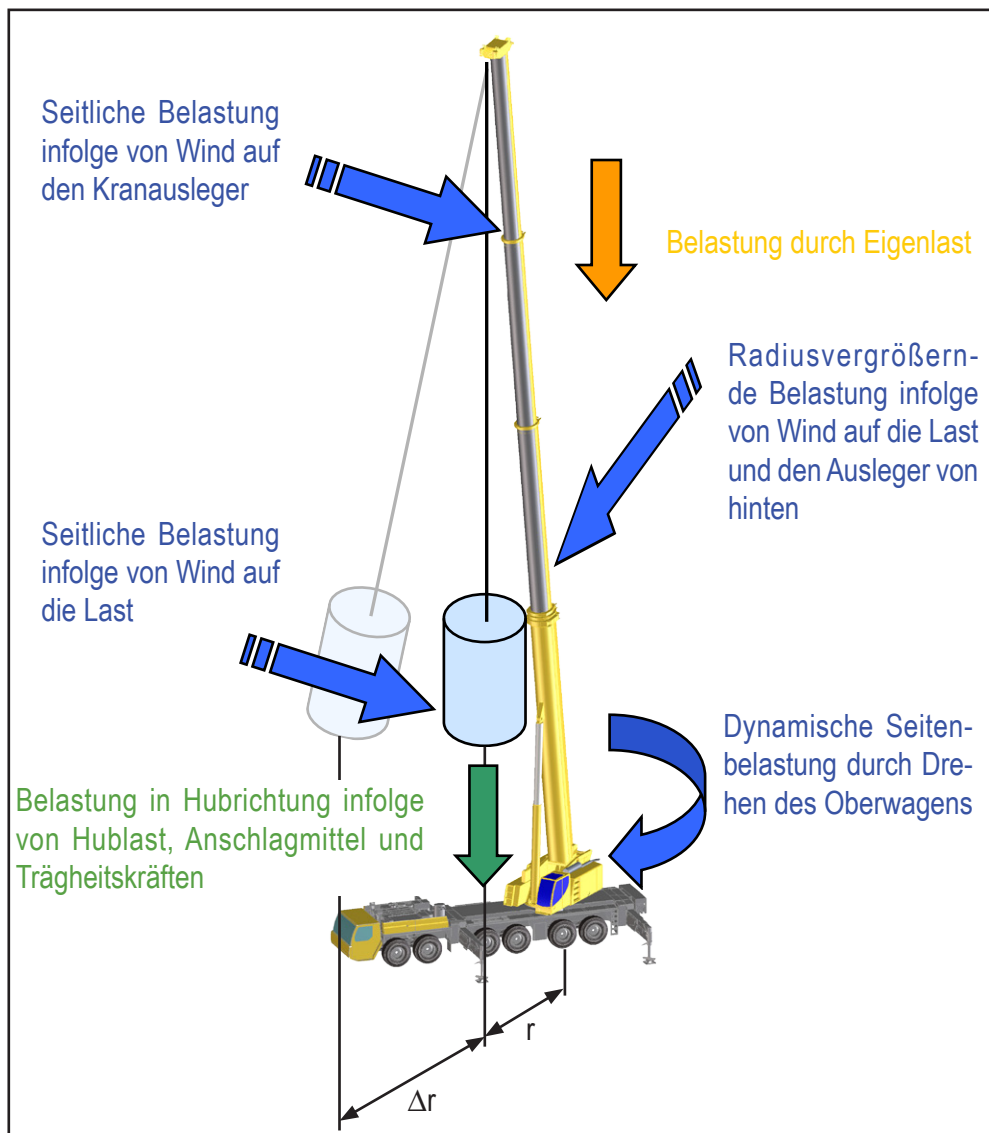
Der Wind von vorne reduziert **nicht** die Belastung von Haken, Hubseil, Hubseilrollen und Hubwinde, da die Last weiterhin mit Ihrer Gewichtskraft (vgl. Kap. 4.1.1) wirkt. Bei Wind von vorne können diese Baugruppen durch Lastheben bis zur Lastmomentbegrenzung (LMB)-Abschaltung überlastet werden! Durch die Entlastung des Windes von vorne kann der gesamte Kran mit der Auslegerabspannung überlastet werden, falls er zuvor bis zur LMB-Abschaltung belastet wurde! **Der Kranfahrer muss deshalb das Gewicht der Last kennen und darf die max. Traglast nicht überschreiten!**



Besonders gefährlich ist der Wind von der Seite auf den Kranausleger und die Last. Dieser wird von der LMB nicht erfasst. Hierdurch kann der Kran überlastet werden.

Die Zusatzbelastung durch Wind von der Seite wird von der Lastmomentbegrenzung (LMB) nicht angezeigt.

Wind von der Seite



Mögliche Belastungen auf den Kran

r = Radius
 Δr = vergrößerter Radius durch Windeinfluss

Bild 5: Belastungen die auf den Kran wirken können

Trifft Wind auf die Last so wird diese in Windrichtung ausgelenkt. Das heißt, die Kraft der Last wirkt am Ausleger nicht mehr senkrecht nach unten. Je nach Windstärke, Windangriffsfläche und Windrichtung kann sich der Radius der Last vergrößern oder es können unzulässige Seitenkräfte auf den Kranausleger wirken.

Windeinfluss auf die Last



Überblick über Gefahren durch Wind



	Wind von vorne	Wind von hinten	Wind von der Seite
Ausleger	Bei Wind von vorne wird das Auslegersystem entlastet. Die Lastanzeige ist zu niedrig. Die LMB-Abschaltung erfolgt erst bei einer Last, die größer ist als die max. zulässige Traglast.	Bei Wind von hinten wird das Auslegersystem zusätzlich belastet. Die Lastanzeige ist zu hoch. Die LMB-Abschaltung erfolgt schon bei einer Last, die kleiner ist als die max. zulässige Traglast in der Traglasttabelle.	Bei Wind von der Seite wird das Auslegersystem seitlich belastet. Die Lastanzeige ist annähernd gleich wie bei „Kranbetrieb ohne Wind“. Die LMB berücksichtigt keinen Seitenwind.
Last	Die Form und das Eigengewicht der Last spielt bei den Windeinflüssen eine große Rolle. Der Wind bringt die Last zum Pendeln, wodurch der Ausleger des Kranes aufschwingt. Durch dieses Aufschwingen (Dynamik) des Auslegers erhöht sich die Auslastung des Krans. Im Grenzbereich kann es sein, dass die LMB-Abschaltung ständig aus- und einschaltet. Bei speziellen Lasten wie z.B. bei einem Rotor kann der Wind durch die Bauform des Rotors lastreduzierend wirken.		

unvorhersehbare Faktoren

Hervorragende Technik und Qualität der Krane, langjährige Berufserfahrung sowie gute Ausbildung der Kranführer/-innen und eine professionelle Einsatzplanung im Vorfeld der Kranarbeiten reduzieren das Risiko eines Arbeitsunfalls wesentlich. Dennoch: unvorhersehbare Faktoren wie z.B. plötzlich auftretende Windböen sind schwer und schon gar nicht im Voraus exakt kalkulierbar. Die Begriffe wie Windangriffs- und Windprojektionsfläche, c_w -Wert, Windböen, Windgeschwindigkeit, Windlast oder Rauigkeitsklassen werden im folgenden erklärt.

Was bedeutet dies nun für das Arbeiten mit dem Kran bei Wind?

Neuberechnung der max. zulässigen Windgeschwindigkeit

Bei der Einsatzplanung müssen, insbesondere bei Lasten mit großen Projektionsflächen bzw. c_w -Werten, die in den Traglasttabellen angegebenen maximal zulässigen Windgeschwindigkeiten reduziert werden.

Die für den Kraneinsatz zuständige Person muss grundlegende Kenntnisse im Bereich der Windeinflüsse bei Kranbetrieb besitzen. Ebenfalls sollte die Person die erforderliche Reduzierung der zulässigen Windgeschwindigkeiten bei speziellen Lastfällen mit großflächigen Lasten neu berechnen können.

Die maximal zulässige Windgeschwindigkeit (v_{max}) und die maximal zulässige Windgeschwindigkeit laut Traglasttabelle (v_{max_TAB}) beziehen sich immer auf die 3-Sekunden-Böengeschwindigkeit, die in der maximalen Hubhöhe herrscht.



1. 2 Übungen

Übung 1

Welche Windarten können auf den Ausleger wirken? (Mehrfachnennungen möglich)

- ☐ Windlast
- ☐ Verdunstung
- ☐ Wind von vorne
- ☐ Windenergie
- ☐ Wind von hinten
- ☐ Wind von der Seite



Übung 2

Welche Windarten haben welche Auswirkungen auf die LMB?

(Antwort)

Die LMB-Abschaltung erfolgt schon bei einer Last, die kleiner ist als die max. zulässige Traglast in der Traglasttabelle.

(Antwort)

Abschaltung erfolgt erst bei einer Last, die größer ist als die max. zulässige Traglast.

(Antwort)

Es erfolgt keine LMB-Abschaltung.

Übung 3

Wie wirkt sich der Wind auf die Last am Kran aus? (Mehrfachnennungen möglich)

- ☐ gar nicht
- ☐ die Last kann pendeln
- ☐ die Last dreht sich am Seil
- ☐ der Radius der Last kann sich vergrößern



2. Grundwissen „Wind“

In diesem Kapitel erlernen Sie die Grundkenntnisse über die Entstehung von Wind und erhalten erste Erläuterungen windspezifischer Fachbegriffe.

Wie entsteht Wind?

Wind ist bewegte Luft. Die Bewegung entsteht als Ausgleichströmung infolge unterschiedlicher Lufttemperaturen und daraus resultierender Druckunterschiede zwischen Hoch- und Tiefdruckgebieten.

Die treibende Kraft von Winden ist die Sonneneinstrahlung. Sie trifft die Erde und ihre Lufthülle unterschiedlich intensiv: senkrecht am Äquator und an den Polen nur noch wie ein Streiflicht. Erde und Luftmassen am Äquator heizen sich auf, die Luft wird leichter und steigt nach oben. Hitze über den Tropen, Kälte an der Polarregion: Das kann so nicht bleiben, die Natur will den Ausgleich. Also fließt Warmluft - am oberen Rand der Wetterschicht - dorthin, wo es kälter ist.

Auf dem Weg nach Norden verliert die Luft soviel an Wärme, dass sie schließlich schwer wird und kalt zu Boden sinkt. Ein Kreislauf entsteht: in der oberen Atmosphäre drängt warme Luft zur Polarregion. Am Boden strömt kalte Luft zurück zu den Tropen wie von einem Staubsauger angesogen. Der Lufttransport vom Äquator kommt am Pol nie an: Die Erddrehung lenkt ihn weit zur Seite ab. Sie bringt auch die Hoch- und Tiefdruckgebiete zum Rotieren.

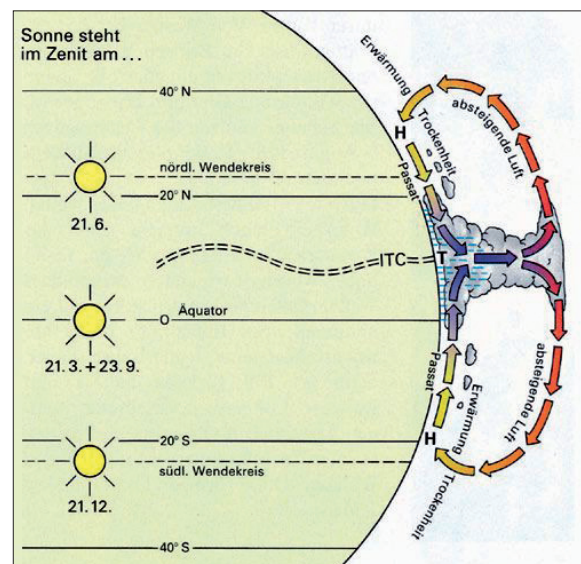


Bild 6: Die Entstehung von Wind

2. 1 Beaufortskala

Francis
Beaufort
(1774-1857)

Windgeschwindigkeiten werden heute in der Regel nach der sog. „Beaufortskala“ klassifiziert. Sie wurde 1806 von Sir Francis Beaufort entwickelt und ihre Einheit trägt daher auch dessen Namen **Beaufort**, abgekürzt **bft**. Es handelt sich um eine phänomenologische Skala von 0-12 (durch Beobachtung von Naturphänomenen). Die Windstärken lassen sich anhand von typischen sichtbaren Auswirkungen und Naturbeobachtungen auf die Landschaft bestimmen. Die Beaufortstärke bezieht sich in der Praxis auf den Mittelwert der Windgeschwindigkeit in einem Zeitraum von 10 Minuten in einer Höhe von 10 Metern. Im Jahr 1835 wurde die Beaufortskala auf dem ersten internationalen meteorologischen Kongress als allgemeingültig erklärt.



Windstärke		Windgeschwindigkeit		Auswirkungen des Windes im Binnenland
Beaufort	Bezeichnung	m/s	km/h	
0	Windstille	0 bis 0,2	0-1	Windstille, Rauch steigt gerade empor
1	leiser Zug	0,3-1,5	1-5	Windrichtung angezeigt durch den Zug des Rauches
2	leichte Brise	1,6-3,3	6-11	Windrichtung angezeigt durch den Zug des Rauches
3	schwache Brise	3,4-5,4	12-19	Wind bewegt dünne Zweige und streckt Wimpel
4	mäßige Brise	5,5-7,9	20-28	Wind bewegt Zweige und dünnere Äste, hebt Staub und loses Papier
5	frische Brise	8,0-10,7	29-38	Kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumkronen bilden sich auf Seen
6	starker Wind	10,8-13,8	39-49	Starke Äste in Bewegung, Regenschirme schwierig zu benutzen
7	steifer Wind	13,9-17,1	50-61	Fühlbare Hemmungen beim Gehen gegen den Wind, ganze Bäume bewegen sich
8	stürmischer Wind	17,2-20,7	62-74	Zweige brechen von Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien
9	Sturm	20,8-24,4	75-88	Kleinere Schäden an Häusern (Dachziegel oder Rauchhauben werden abgeworfen)
10	schwerer Sturm	24,5-28,4	89-102	Entwurzelt Bäume, bedeutende Schäden an Häusern
11	orkanartiger Sturm	28,5-32,6	103-117	Verbreitete Sturmschäden
12	Orkan	32,7 und mehr	118 und mehr	Schwerste Verwüstung

Tabelle nach Beaufort

Tabelle 1: Beaufortwerte



Windstärken- diagramm

Die höchste Windgeschwindigkeit, die in Deutschland bislang gemessen wurde, lag bei 335 km/h. Sie wurde am 12. Juni 1985 auf der Zugspitze registriert. Sie entsprach rechnerisch dem Beaufortwert 23,1.

Beaufort (bft) ist eine „willkürliche“ Einheit. Es drückt die empfundene Wirkung des Windes aus. Beaufort (bft) steht aber in einem direkten Zusammenhang mit der physikalisch messbaren Windgeschwindigkeit. Das folgende Diagramm zeigt die Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Windstärken.

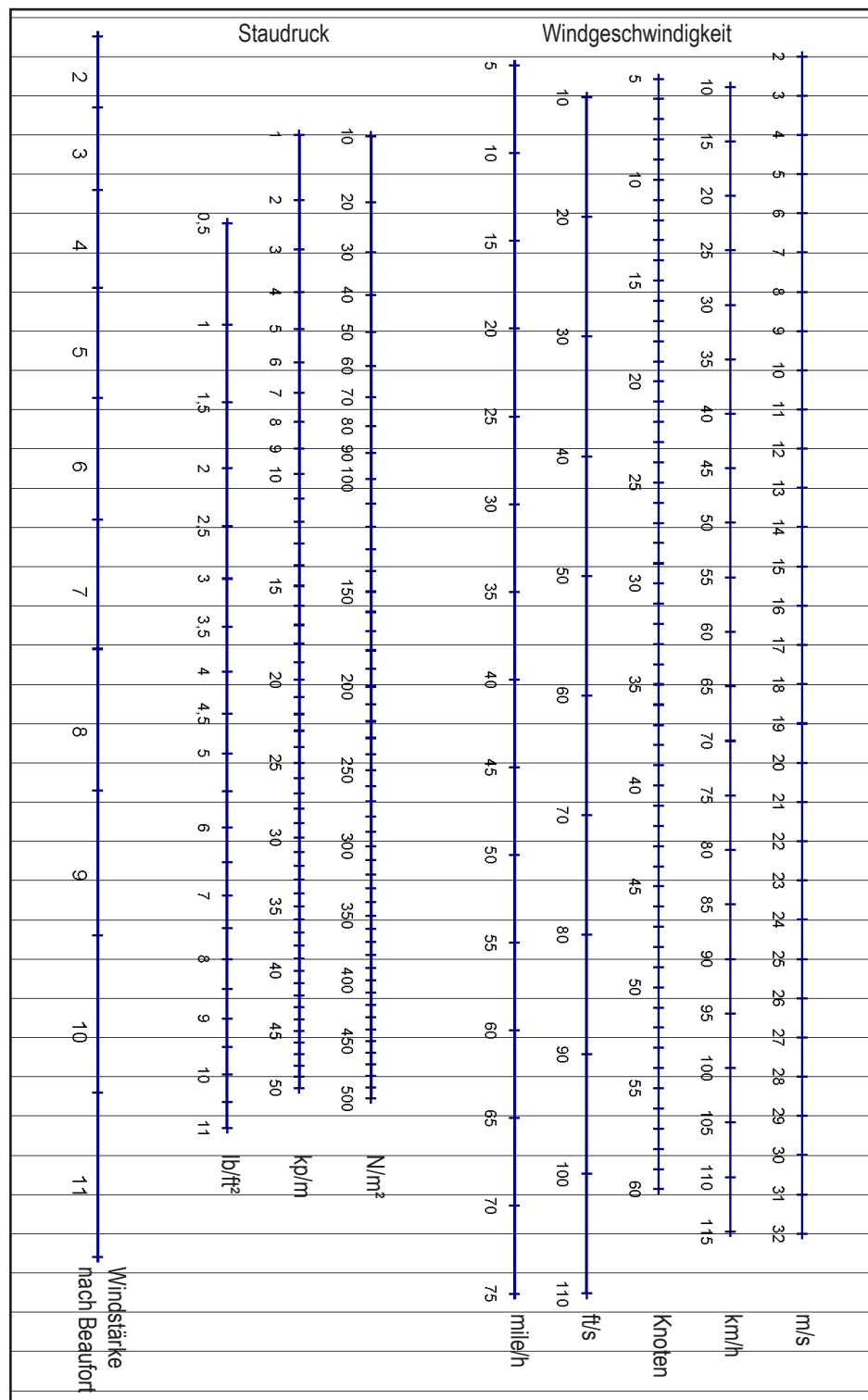


Bild 7: Gegenüberstellung Windstärke und Windgeschwindigkeit



2. 2 Windböen und Rauigkeit

Als **Böe**, manchmal auch Bö oder Boe geschrieben, wird ein starker Windstoß bezeichnet, der im Rahmen eines Windes oder eines Sturmsystems aktiv wird. Immer wieder sind Menschen überrascht, wenn im Wetterbericht beispielsweise von einem Wind mit 33 km/h berichtet wird, weil man den Eindruck hat, dass der Wind viel stärker ist.

Tatsächlich handelt es sich bei der Böe um einen **Windstoß**, der unabhängig von der durchschnittlichen Geschwindigkeit des Windes stärker auftritt. So kann eine Windböe 60 oder mehr km/h erreichen, während der durchschnittliche Wert deutlich darunter liegt.

Windböen können daher auch **sehr gefährlich** werden, weil sie unmittelbar einsetzen und nicht lang andauern. Die Dauer ist dabei nicht das Problem, sondern das plötzliche Einsetzen einer viel stärkeren Luftbewegung, als der restliche Wind dies erwarten lässt. So können Windböen nicht nur im Straßenverkehr zu gefährlichen Situationen führen.



Bild 8: Umgekippter Bus nach einer Windböe

Die Böengeschwindigkeit einer Windböe ist der Durchschnittswert der Windgeschwindigkeit, welche über einen Zeitraum von **3 Sekunden** gemessen wird. Die Böengeschwindigkeit ist höher als die durchschnittliche Windgeschwindigkeit, die über einen Zeitraum von 10 Minuten gemittelt wird.

Definition einer Windböe nach EN 13000



Bild 9: Schaubild zur Windböenermittlung

Es gibt äußere Bedingungen, welche die Windböengeschwindigkeit erhöhen oder verringern können:

- Gebäude
- enge Täler und Schluchten
- glatte Wasserflächen
- Höhe über Grund



Verhalten des Windes in großen Höhen

Hoch über dem Boden, in rund 1 Kilometer Höhe, wird der Wind kaum mehr von der Oberflächenbeschaffenheit der Erde beeinflusst. In den niedrigeren Luftschichten der Atmosphäre wird die Windgeschwindigkeit durch die Bodenreibung reduziert. Man unterscheidet zwischen der **Rauigkeit** des Terrains, dem Einfluss von Hindernissen und dem Einfluss der Geländekonturen, was auch als „Orographie“ des Geländes bezeichnet wird.

Die Windgeschwindigkeit wird umso mehr gebremst, je ausgeprägter die Rauigkeit des Bodens ist. Wälder und Großstädte bremsen den Wind natürlich beträchtlich, während betonierte Startbahnen auf Flughäfen den Wind nur geringfügig verlangsamen. Noch glatter sind Wasserflächen, sie haben daher einen noch geringeren Einfluss auf den Wind, wogegen hohes Gras, Sträucher und Buschwerk den Wind erheblich bremsen.

Windgeschwindigkeit bei verschiedenen Rauigkeitsklassen

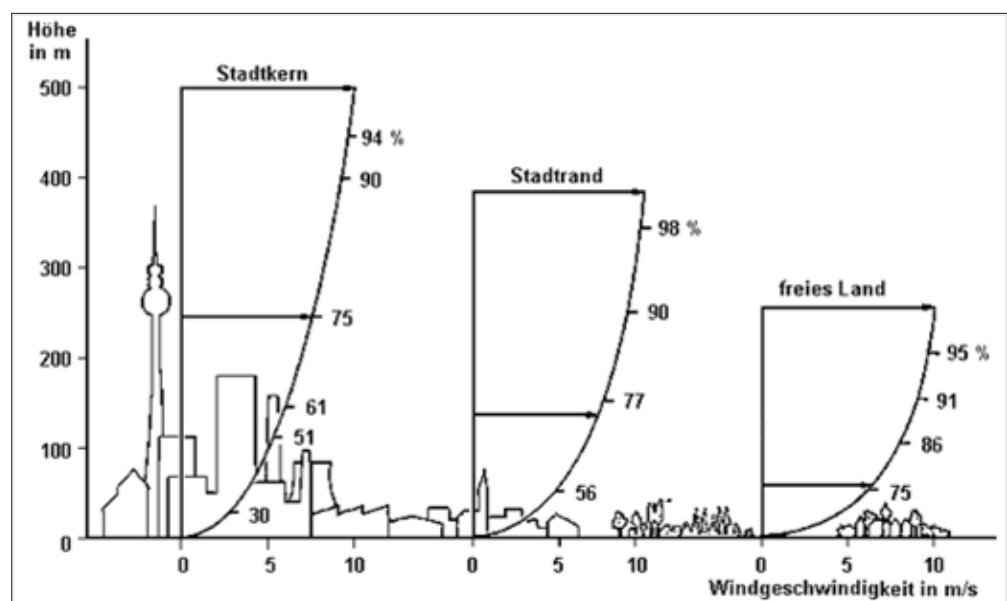


Bild 10: Schaubild zu den verschiedenen Rauigkeitsklassen

In der Windindustrie verweisen die Techniker oft auf Rauigkeitsklassen, wenn es darum geht, die Windverhältnisse einer Landschaft zu bewerten. Eine hohe Rauigkeitsklasse von 3 bis 4 bezieht sich auf eine Landschaft mit vielen Bäumen und Gebäuden, während eine Meeresoberfläche in Rauigkeitsklasse 0 fällt. Betonierte Startbahnen auf Flughäfen fallen in die Rauigkeitsklasse 0,5.



Werte vom Wetteramt und Berechnungen bezüglich der Windgeschwindigkeit beziehen sich auf die **Rauigkeitsklasse 2**.

Bei kleineren Rauigkeitsklassen muss damit gerechnet werden, dass am Einsatzort die Windgeschwindigkeit **höher** ist als vom Wetteramt angegeben!