

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



Windeinflüsse bei Kranbetrieb

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.

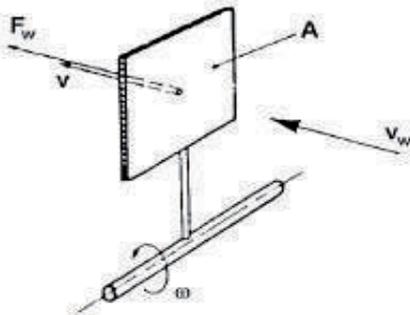


Bild 1: Widerstandsprinzip

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.

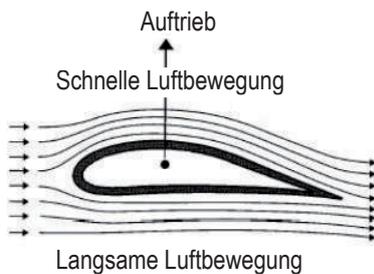


Bild 2: Auftriebsprinzip

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

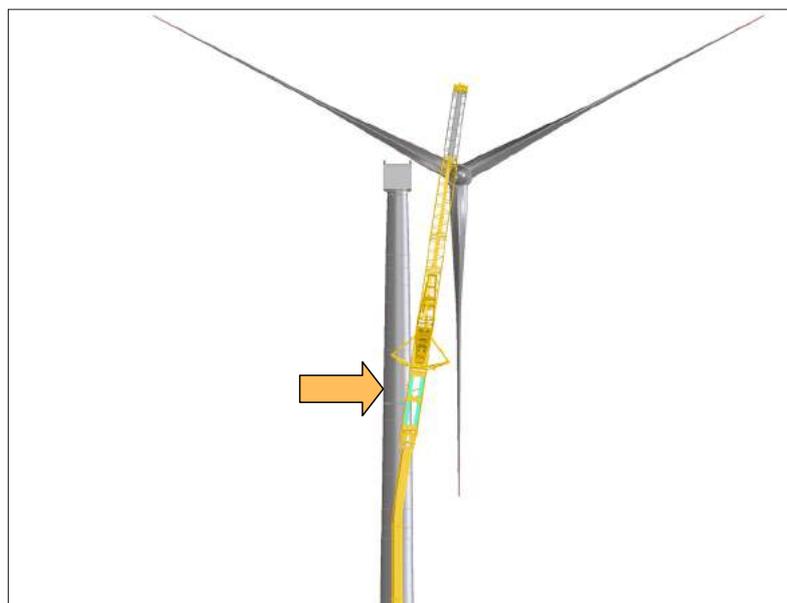


Bild 4: Wind von der Seite



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!**

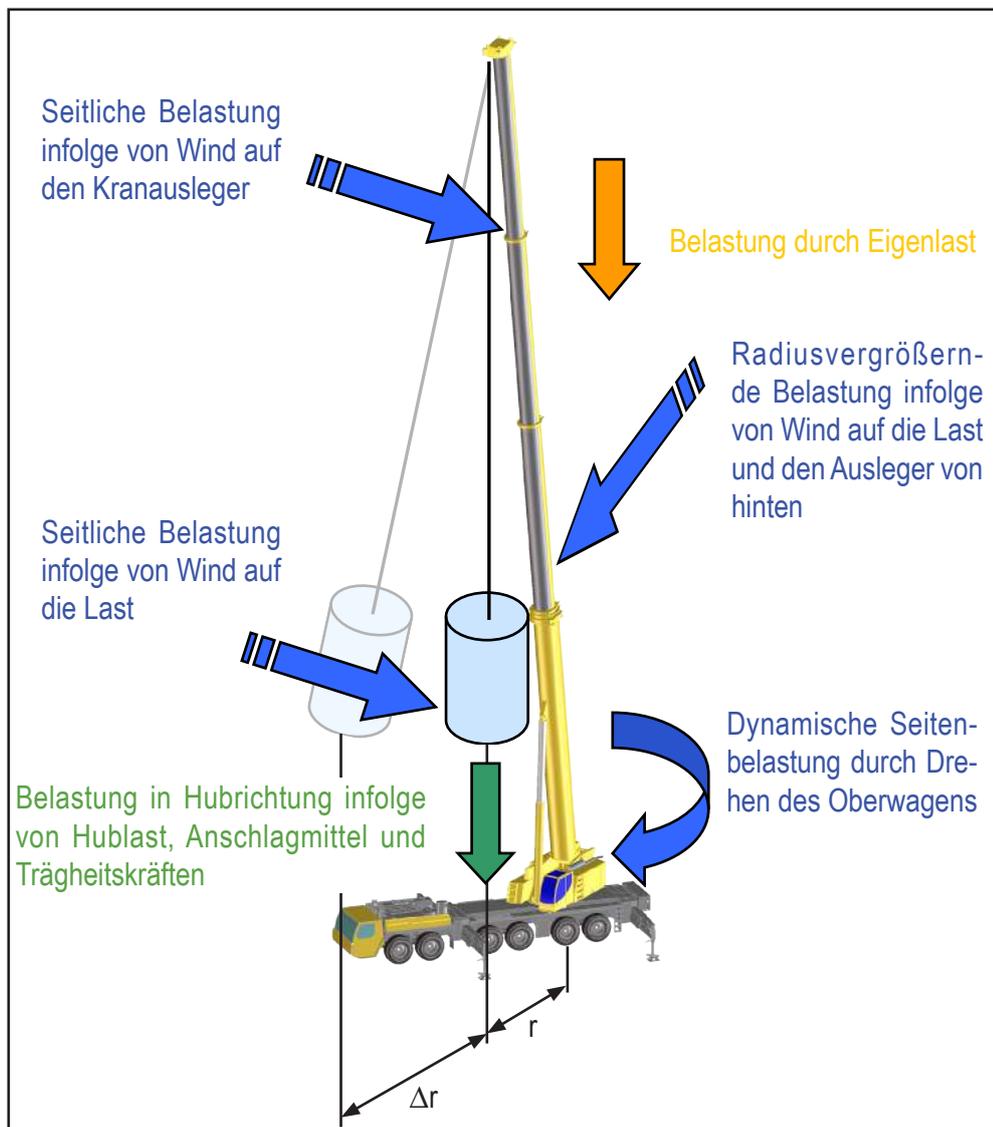


Windeinflüsse bei Kranbetrieb

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.

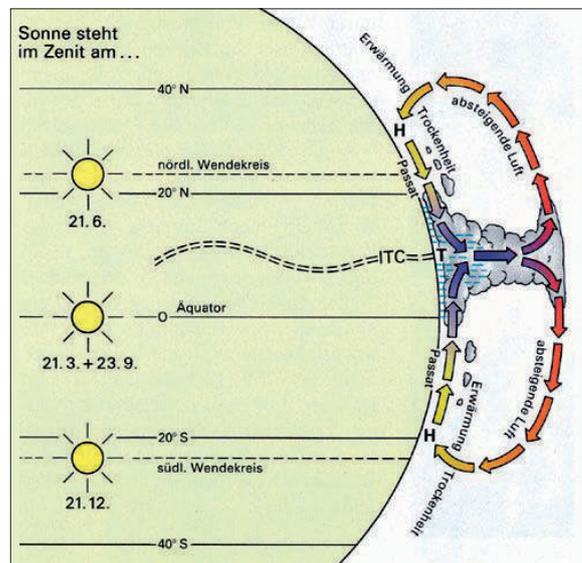


Bild 6: Die Entstehung von Wind

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.



Windeinflüsse bei Kranbetrieb

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 1: Beaufortwerte

Tabelle nach Beaufort



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.

Windstärken-
diagramm

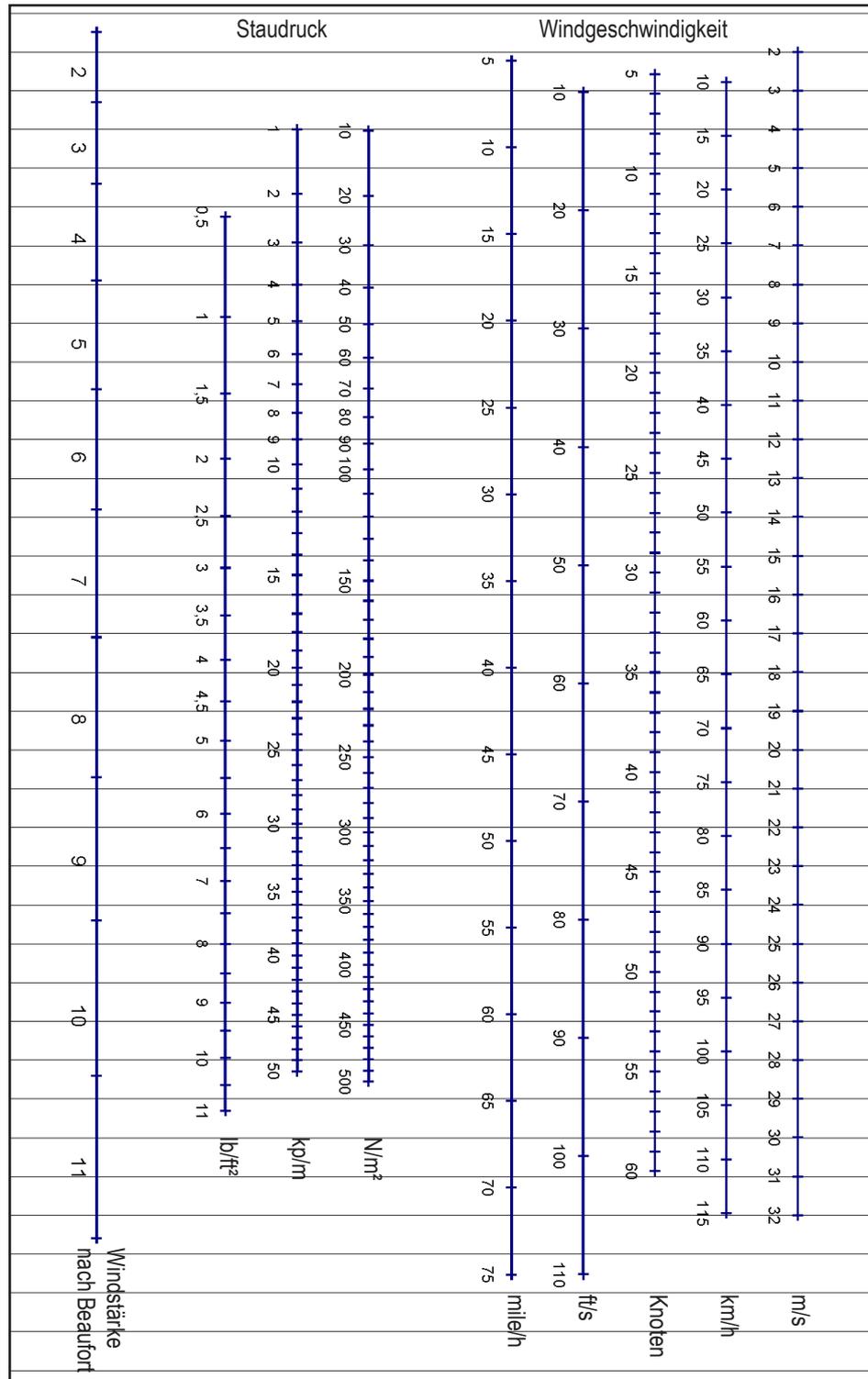


Bild 7: Gegenüberstellung Windstärke und Windgeschwindigkeit



Windeinflüsse bei Kranbetrieb

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



Windeinflüsse bei Kranbetrieb

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

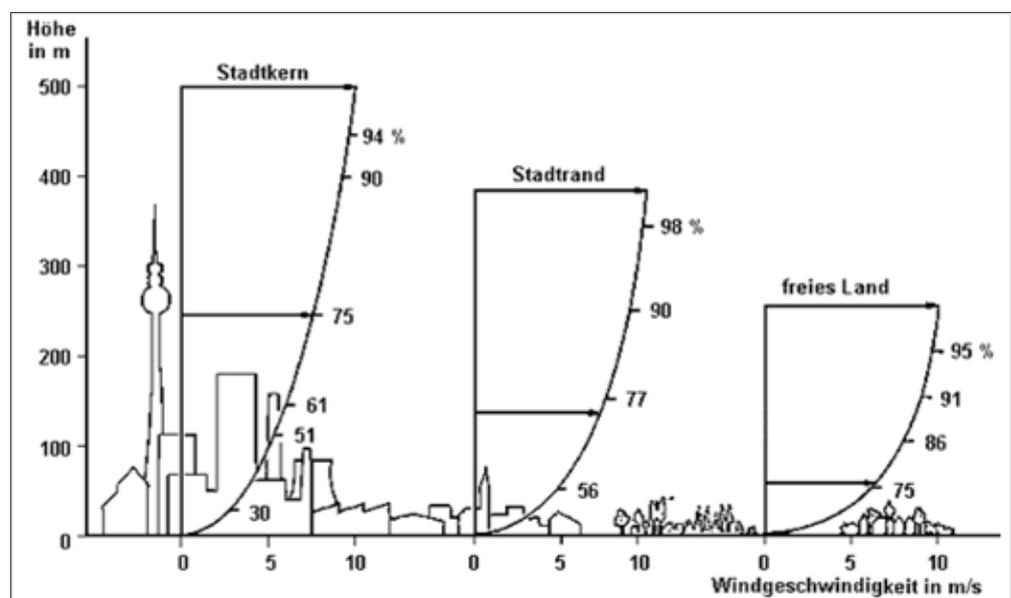


Bild 10: Schaubild zu den verschiedenen Rauigkeitsklassen

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!



Windeinflüsse bei Kranbetrieb

Rauigkeitsklasse	Typen von Geländeoberflächen
0	Wasserflächen
0,5	Offenes Gelände, glatte Oberflächen z.B. Landebahnen.
1	Offenes Gelände ohne Zäune und Hecken, evtl. mit weitläufig verstreuten Gebäuden und sehr sanfte Hügel.
1,5	Gelände mit einigen Häusern und 8 m hohen Hecken im Abstand von mehr als 1 km.
2	Gelände mit einigen Häusern und 8 Meter hohen Hecken im Abstand von ca. 500 m.
2,5	Gelände mit vielen Häusern, Büschen und Pflanzen, oder 8 m hohe Hecken im Abstand von ca. 250 m.
3	Dörfer, Kleinstädte, Gelände mit vielen oder hohen Hecken, Wälder und sehr raues und unebenes Terrain.
3,5	Größere Städte mit hohen Gebäuden.
4	Großstädte mit sehr hohen Gebäuden.

Tabelle 2: Rauigkeitsklassen

In Städten mit hohen Gebäuden liegt die Rauigkeit bei 4 (vgl. Tabelle 2). Dadurch entsteht der Eindruck, dass der Wind dort nicht so stark ist. Jedoch sind in großen Städten mit hohen Gebäuden auch große Häuserschluchten vorhanden. Die Luft wird auf der Windseite der Häuser komprimiert, und ihre Geschwindigkeit steigt beträchtlich an, während sie zwischen der Häuserschlucht hindurchbläst. Dieses Phänomen wird als „**Düsen-Effekt**“ bezeichnet.

Wenn die normale Windgeschwindigkeit in offenem Terrain z.B. 6 m/s beträgt, kann sie in einer Häuserschlucht durchaus 9 m/s erreichen.

Rauigkeits-
klassen im
Überblick



Das Phänomen
„Düsen-Effekt“



2. 3 Wind- und Wetterinformationen

Bei Kranbetrieb und speziell beim Heben von großflächigen Lasten sind die Windeinflüsse unbedingt zu beachten.



Der Kranführer hat sich vor Beginn der Arbeit beim zuständigen **Wetteramt** über die zu erwartende maximale Windgeschwindigkeit zu informieren. Sind unzulässige Windgeschwindigkeiten zu erwarten ist es verboten, die Last zu heben.

Aktuelle Wetterdaten finden Sie auch über das **Internet** (z.B. www.windfinder.com unter dem Reiter „Super Forecast“). **Beachten Sie jedoch dabei, dass die Böengeschwindigkeit, wie hier im Beispiel, auf eine Höhe von 10 Metern über Grund bezogen ist.**

Windwerte aus dem Internet

Ändern der
Einheit von [m/s]
in [knt]

Ort

Anzeige der
Windstärke bzw.
Windböe in [m/s]
oder [knt]

Datum

		Donnerstag, Jul 08														
Lokales Datum		07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h
Windrichtung		↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖
Windstärke (m/s)		3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	1	2
Windböen (m/s)		5	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	2	2
Relative Luftfeuchte (%)		55	53	50	46	41	35	33	32	31	31	32	32	34	37	45
Niederschlag (mm/h)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Luftdruck Meeresspiegel (hPa)		1018	1018	1018	1018	1018	1019	1018	1018	1018	1018	1018	1018	1017	1017	1017
Lufttemperatur (°C)		17	15	20	22	24	26	27	28	28	29	29	28	28	27	25
Gefühlte Temp. (°C)		17	19	20	22	24	26	27	28	28	29	29	28	28	27	25

Bild 11: Bildschirmansicht von der Seite www.windfinder.com



Windeinflüsse bei Kranbetrieb

2. 3. 1 Höhenabhängige Windgeschwindigkeit

Um die höhenabhängige Windgeschwindigkeit für die max. Hubhöhe definieren zu können gilt nachfolgende Tabelle.

Sie erhalten z.B. vom Wetteramt eine über 10 Minuten gemittelte Windgeschwindigkeit von $6,2 \frac{m}{s}$ in 10 Metern über dem Grund. Laut Tabelle 1 (siehe Seite 13) entspricht diese Windgeschwindigkeit dem Beaufortwert 4.

Sie haben z.B. eine max. Hubhöhe von 50 Metern. An Hand der Tabelle 3 (siehe unten) kann nun die Böengeschwindigkeit in 50 Metern Höhe ermittelt werden.

Sie beträgt **13,1 $\frac{m}{s}$** . Bei einer maximal zulässigen Böengeschwindigkeit von $9 \frac{m}{s}$ laut Traglasttabelle darf der Lasthub **nicht** durchgeführt werden.

Beaufortwert	3	4	5 ^a	5	6	7 ^a	7	8	9	10
\bar{v} m/s ^b	5,4	7,9	10,1	10,7	13,8	14,3	17,1	20,7	24,4	28,4
z m	v(z) m/s									
10	7,6	11,1	14,1	15,0	19,3	20,0	23,9	29,0	34,2	39,8
20	8,1	11,9	15,2	16,1	20,7	21,5	25,7	31,1	36,6	42,7
30	8,5	12,4	15,8	16,8	21,6	22,4	26,8	32,4	38,2	44,5
40	8,7	12,8	16,3	17,3	22,3	23,1	27,6	33,4	39,4	45,8
50	8,9	13,1	16,7	17,7	22,8	23,6	28,3	34,2	40,3	46,9
60	9,1	13,3	17,0	18,0	23,3	24,1	28,8	34,9	41,1	47,9
70	9,3	13,5	17,3	18,3	23,6	24,5	29,3	35,5	41,8	48,7
80	9,4	13,7	17,6	18,6	24,0	24,8	29,7	36,0	42,4	49,4
90	9,5	13,9	17,8	18,8	24,3	25,1	30,1	36,4	42,9	50,0
100	9,6	14,1	18,0	19,1	24,6	25,4	30,4	36,9	43,4	50,6
110	9,7	14,2	18,2	19,2	24,8	25,7	30,8	37,2	43,9	51,1
120	9,8	14,3	18,3	19,4	25,1	25,9	31,1	37,6	44,3	51,6
130	9,9	14,5	18,5	19,6	25,3	26,2	31,3	37,9	44,7	52,0
140	10,0	14,6	18,7	19,8	25,5	26,4	31,6	38,2	45,1	52,5
150	10,0	14,7	18,8	19,9	25,7	26,6	31,8	38,5	45,4	52,9
160	10,1	14,8	18,9	20,1	25,9	26,8	32,1	38,8	45,7	53,2
170	10,2	14,9	19,1	20,2	26,0	27,0	32,3	39,1	46,0	53,6
180	10,3	15,0	19,2	20,3	26,2	27,1	32,5	39,3	46,3	53,9
190	10,3	15,1	19,3	20,4	26,4	27,3	32,7	39,5	46,6	54,2
200	10,4	15,2	19,4	20,6	26,5	27,4	32,8	39,8	46,9	54,6

^a Windstufen für den Kran in Betrieb:
 1 leicht $\bar{v} = 10,1 \text{ m/s} \Rightarrow$ bei $z = 10 \text{ m} \Rightarrow$ Böengeschwindigkeit = $14,1 \text{ m/s} \Rightarrow q(z) = 125 \text{ N/m}^2$
 2 normal $\bar{v} = 14,3 \text{ m/s} \Rightarrow$ bei $z = 10 \text{ m} \Rightarrow$ Böengeschwindigkeit = $20,0 \text{ m/s} \Rightarrow q(z) = 250 \text{ N/m}^2$

^b Obergrenze der Beaufort-Stufe

Höhenabhängige
Windgeschwindigkeit

Tabelle 3: 3-Sekunden-Böengeschwindigkeit in Abhängigkeit von der mittleren Windgeschwindigkeit nach Beaufort-Skala und der Höhe

Quelle: DIN EN 13000

\bar{v} [m/s]: über 10 Minuten gemittelte Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe (Obergrenze der Beaufort-Stufe)

z [m]: Höhe über ebenem Boden

v(z) [m/s]: in der Höhe z wirkende, für die Berechnung maßgebende Geschwindigkeit einer 3-Sekunden-Böe

q(z) [N/m²]: in der Höhe z wirkender quasistatischer (näherungsweise) Staudruck, ermittelt aus v(z)



2. 4 Übungen

Übung 4

Ermitteln Sie aus „Tabelle 1: Beaufortwerte“ die Auswirkungen des Windes auf das Binnenland und den zugehörigen Beaufortwert für eine Windgeschwindigkeit von 42 km/h.

Antwort:

Übung 5

Bestimmen Sie an Hand der „Tabelle 2: Rauigkeitsklassen“ welche Rauigkeit in den beiden unten aufgeführten Bildern besteht!

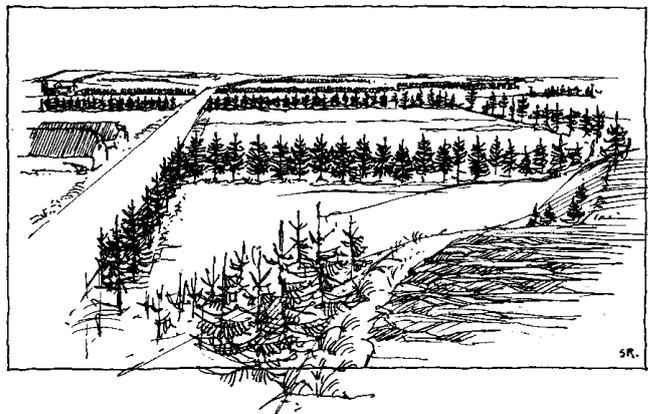


Bild 12: Bestimmen Sie die Rauigkeitsklasse!

Antwort:



Bild 13: Bestimmen Sie die Rauigkeitsklasse!

Antwort:

Übung 6

Was versteht man nach EN 13000 unter einer „Windböe“?

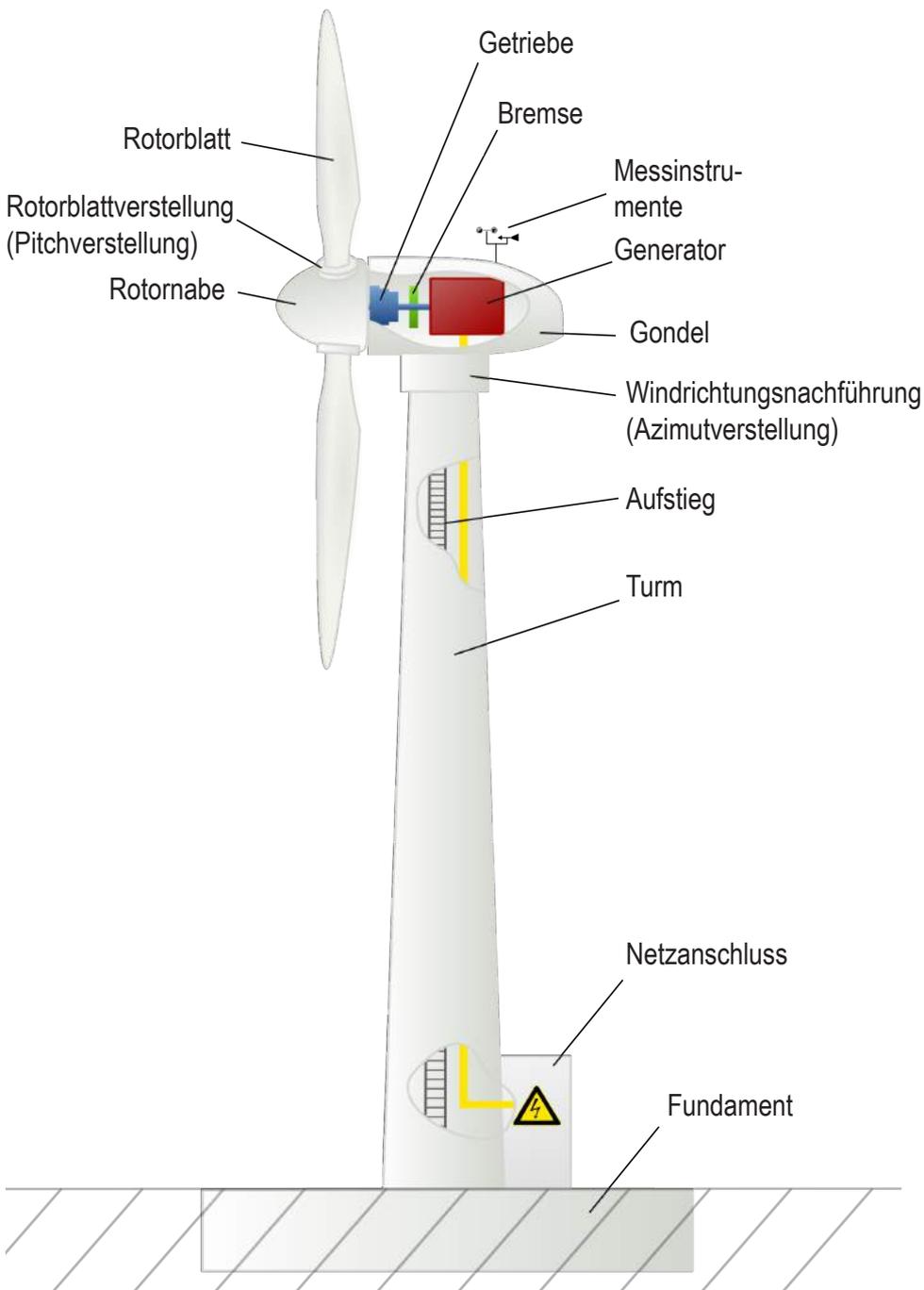
- schwacher Wind auf Grund einer Luftdruckdifferenz
- heftiger Windstoß von kurzer Dauer
- heftiger Windstoß über einen Zeitraum von 3 Sekunden, höher als die durchschnittliche Windgeschwindigkeit



3. Exkurs – Schema einer Windkraftanlage

In diesem Kapitel lernen Sie den schematischen Aufbau einer Windanlage kennen. Ebenfalls zeigen wir Ihnen wie sich Windgeschwindigkeiten in den verschiedenen Höhenlagen verhalten.

Die Nutzung der Windenergie ist seit Jahrhunderten bekannt. Die Entwicklung immer leistungsstärkerer **Windkraftanlagen** wird vorangetrieben. Die Höhe der Türme, auf denen die Anlagen betrieben werden, nimmt zu. Neue Anlagen sind atemberaubend in ihren Ausmaßen. Bei einer Nabenhöhe von bis zu 135 Metern dreht sich der Rotor mit einem Durchmesser von 126 Metern. Zum Vergleich: Die Spannweite des Airbus A380 beträgt knapp 80 Meter.



Bauteile einer Windkraftanlage



Windeinflüsse bei Kranbetrieb

Aufbau von Luftschichten

Werden einzelne Windkraftanlagen oder ganze Windparks erstellt, geschieht das meist dort wo der Wind am heftigsten bläst. Jeden Meter, den sie höher in die Atmosphäre vordringen können, wird mit einer besseren Ausbeute belohnt. Bei einer Betrachtung der vertikalen **Unterteilung der Atmosphäre** ist alleine deren untere Schicht für eine Nutzung der Windenergie geeignet. Das hat mit dem Aufbau der erdnahen Luftschichten zu tun. Bei steigender Höhe hat die Rauigkeit des Erdbodens weniger Einfluss auf die Windgeschwindigkeit. Daher bläst der Wind in großen Höhen gleichmäßiger und ist im wesentlichen durch weniger Turbulenzen geprägt. Diese Tatsache kommt den Herstellern von Windkraftanlagen sehr entgegen.

Wo kommen welche Turbulenzen vor

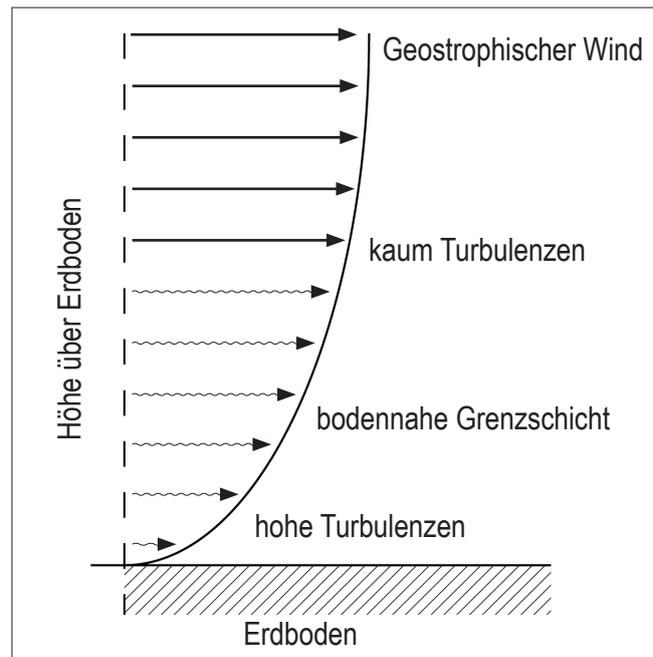


Bild 14: Turbulenzen in verschiedenen Höhenlagen

Eine weitere Tatsache besagt, dass die Windgeschwindigkeit abnimmt, je weiter man sich dem Boden nähert. Betrachtet man eine Anlage mit einer Nabenhöhe von 40 Metern und einem Rotordurchmesser von 40 Metern, wird die Spitze eines Rotorblattes mit z.B. 9,3 m/s angeströmt, wenn es sich in der **höchsten Position** befindet. Die Windgeschwindigkeit in der **niedrigsten Position** am Rotorblatt beträgt nur 7,7 m/s. Das bedeutet, daß die Kräfte auf das Rotorblatt (Lagerbelastung) in der höchsten Position weitaus größer sind als in der niedrigsten.



4. Faktoren der Windkraftberechnung

In diesem Kapitel erlernen Sie die Fachbegriffe und Berechnungsgrundlagen, die für die Berechnung von Windeinflüssen bei Kranbetrieb notwendig sind. Ebenfalls lernen Sie die zulässige Windgeschwindigkeit aus einem Diagramm abzulesen.

Folgende Faktoren sind bei der Berechnung der Windlasten von zentraler Bedeutung:

- Gewicht der Last
- maximale Projektionsfläche
- c_w -Wert
- maximale Windgeschwindigkeit
- Windangriffsfläche
- Staudruck

4. 1 Vorhandene Werte abfragen

Folgende Werte müssen Sie im Vorfeld der Kranarbeiten erfragen:

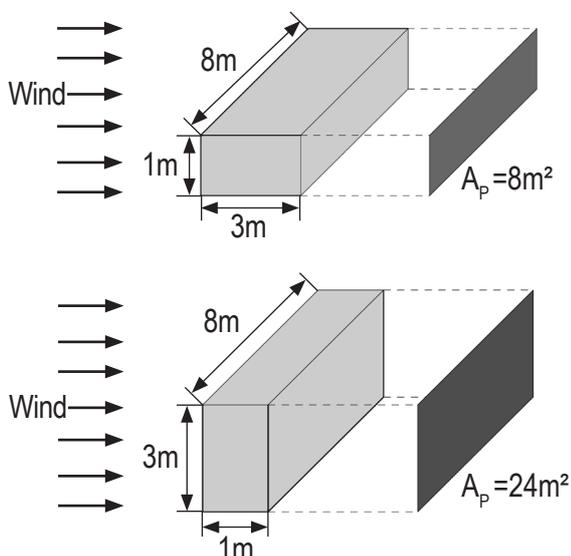
- das **Gewicht der Hublast** (m_H) (vgl. Kap. 4.1.1)
- die **maximale Projektionsfläche** (A_p) der Last, (vgl. Kap. 4.1.2)
- den **Widerstandsbeiwert** (c_w -Wert), (vgl. Kap. 4.1.3)
- die aktuelle **Windgeschwindigkeit** (v_{act}), (vgl. Kap. 4.1.4)

4. 1. 1 Gewicht der Hublast (m_H)

Das **Gewicht** der zu hebenden Hublast (Last und Haken) wird in Kilogramm (kg) oder Tonnen (t) gemessen. Das Gewicht der Last kann der Kranfahrer aus dem Lieferschein bzw. direkt an der Last ablesen oder beim Hersteller erfragen. Eine Last, von der das Gewicht, der c_w -Wert und die Projektionsfläche nicht bekannt ist, darf nicht gehoben werden.

4. 1. 2 maximale Projektionsfläche (A_p)

Wird ein Körper durch eine Lichtquelle angestrahlt, so wirft der Körper einen Schatten. Dieser Schatten ist die **Projektionsfläche** A_p des Körpers. Wird der Körper an Stelle von Licht nun durch Wind beströmt entsteht derselbe Schatten (Projektionsfläche). Je nach Windrichtung kann der Schatten größer oder kleiner werden. Die maximale Projektionsfläche erhalten Sie vom Hersteller der Last.

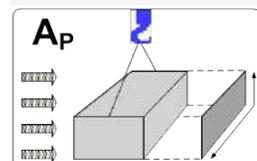


Anhand des Beispiels auf der linken Seite soll verdeutlicht werden, dass ein Gegenstand verschiedene Projektionsflächen haben kann. Darum muss immer die maximale Projektionsfläche einer Last oder eines Körpers angenommen werden.

Je größer die Projektionsfläche desto größer ist die Angriffsfläche für den Wind.

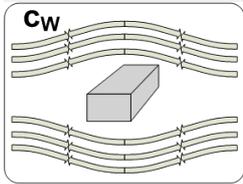
Definition Gewicht der Hublast

Definition Projektionsfläche





Definition Widerstandsbeiwert



4. 1. 3 c_w -Wert

Wird ein Körper von Luft an- oder umströmt, wird die Luft dadurch gebremst. Der Körper bildet für die Luft ein Hindernis (Strömungswiderstand). In Abhängigkeit von der Form des Körpers ändert sich der Strömungswiderstand. Um die Form des Körpers zu beschreiben wird der **Widerstandsbeiwert** definiert.

Der Widerstandsbeiwert (c_w -Wert) eines Körpers gibt an, wie groß das Hindernis durch den Körper für die Luft ist. Den c_w -Wert erhalten Sie vom Hersteller der Last.

Körper	Widerstandsbeiwert c_w
Platte/ Quader 	1,1 bis 2,0
Zylinder 	0,6 bis 1,0
Kugel 	0,3 bis 0,4
Halbkugel (vorne) 	0,2 bis 0,3
Halbkugel (hinten) 	0,8 bis 1,2
Rotor einer Windkraftanlage 	ca. 1,6

Tabelle 4: c_w -Werte von gängigen Körpern

4. 1. 4 aktuelle Windgeschwindigkeit (v_{act})

Woher bekomme ich die aktuelle Windgeschwindigkeit?

Die aktuelle **Windgeschwindigkeit** wird in [m/s] oder [km/h] angegeben. Vor Beginn der Arbeit müssen Sie sich beim zuständigen Wetteramt oder im Internet (z.B. www.wetterfinder.com) über die zu erwartende Windgeschwindigkeit erkundigen. Sind unzulässige Windgeschwindigkeiten zu erwarten darf die Last nicht gehoben werden!

Ebenfalls können Sie die aktuelle Windgeschwindigkeit mit Hilfe des **Windgebers** am LICCON-Computersystem ablesen.



Der aktuelle Wert des Windgebers am Kran darf nicht als alleinige Berechnungsgrundlage für den Lasthub verwendet werden. Vor Beginn des Lasthubes muss immer bei dem zuständigen Wetteramt oder im Internet die aktuelle Windgeschwindigkeit für den Zeitraum des Lasthubes eingeholt werden.



Windeinflüsse bei Kranbetrieb

Windgeber (Anemometer)

An einem Kran können bis zu **zwei Windgeber** angebaut sein. Die Windwarnung erfolgt im Betriebsbild des LICCON-Computersystems. Übersteigt der aktuelle Wert der Windgeschwindigkeit den angezeigten Maximalwert, beginnt das Symbol „Windwarnung“ zu blinken und der akustische Alarm >>KURZE HUPE<< ertönt. Es erfolgt jedoch keine Abschaltung der Kranbewegungen. Der Lasthub ist so schnell wie möglich zu beenden und der Ausleger ist ggf. abzulegen.



Der **obere Wert** im Symbol „Windwarnung“ des Betriebsbildes zeigt den Wert des Windgebers an der festen Spitze an.

Der **untere Wert** im Symbol „Windwarnung“ des Betriebsbildes zeigt den Wert des Windgebers am Hauptausleger an.

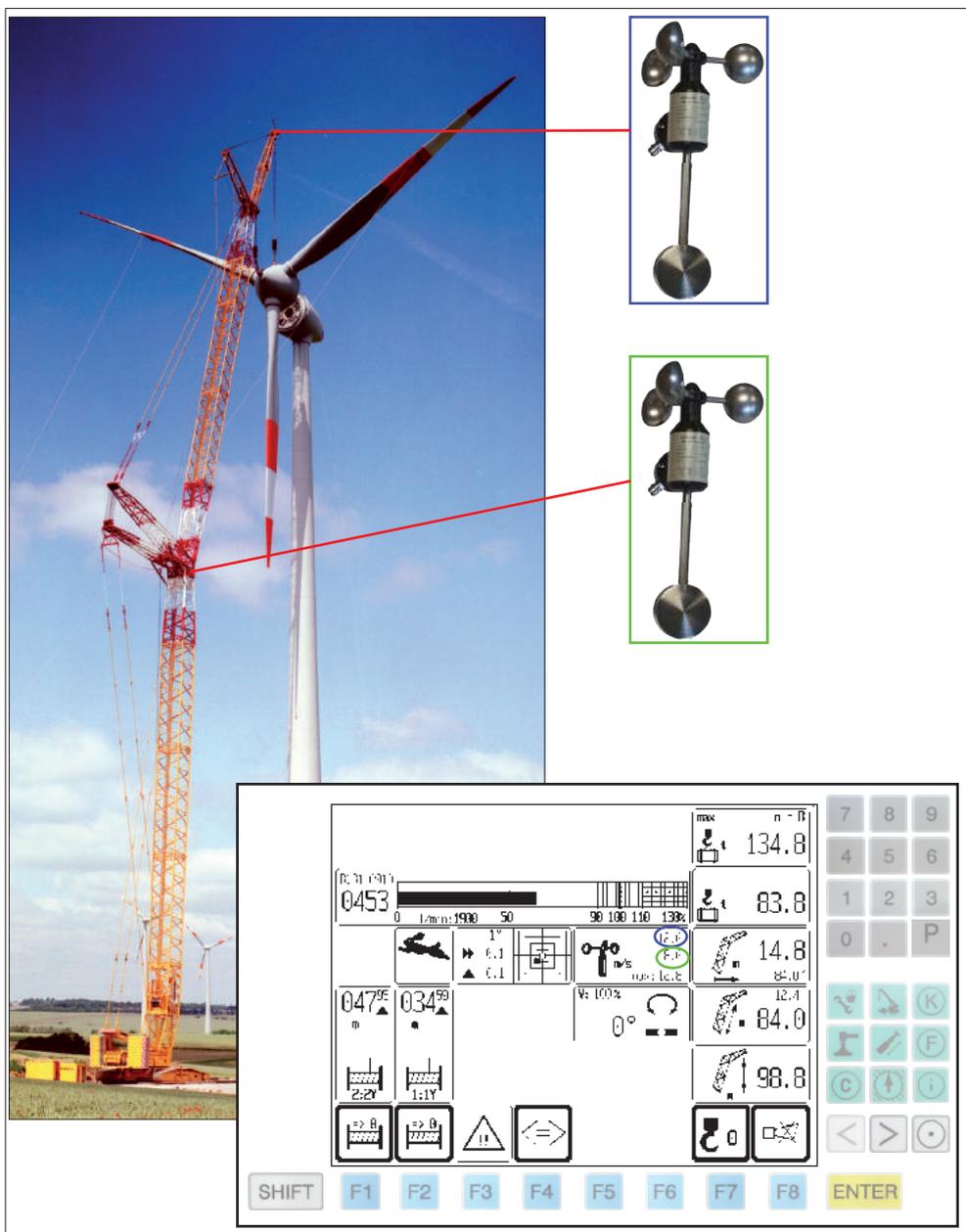


Bild 15: Anbauposition der Windgeber und Betriebsbild LICCON

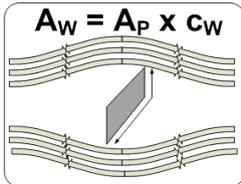


4. 2 Nicht vorhandene Werte ermitteln bzw. berechnen

Möglicherweise sind folgende Werte mit den bekannten Faktoren zu ermitteln oder zu berechnen:

- die Windangriffsfläche, (vgl. Kap. 4.2.1)
- die zulässige Windgeschwindigkeit aus Traglasttabellenbuch, (vgl. Kap. 4.2.2)
- der Staudruck, (vgl. Kap. 4.2.3)
- die Windbelastung, (vgl. Kap. 4.2.4)

4. 2. 1 Windangriffsfläche (A_w)



Die **Windangriffsfläche** A_w gibt an wieviel Angriffsfläche der Wind unter der Berücksichtigung von dem Widerstand des Körpers hat. Sie setzt sich aus der Projektionsfläche A_p und dem c_w -Wert zusammen.

Formel Windangriffsfläche (A_w):

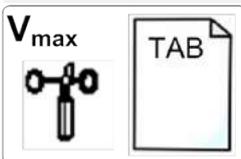
$$A_w = A_p \cdot c_w$$

4. 2. 2 Zulässige Windgeschwindigkeit aus Traglasttabellenbuch

zulässige Windgeschwindigkeit aus Traglasttabellenbuch

Im **Traglasttabellenbuch** gibt es für jede Traglasttabelle des Kranes eine berechnete maximal zulässige Windgeschwindigkeit. Diese ist jedoch von der Auslegerlänge und der Krankonfiguration abhängig. Für die Berechnung wurden die Standardwerte aus der EN 13000 (Bezugsgröße der Last 1,2 m² pro Tonne) verwendet.

Überschreitet die **aktuelle Windgeschwindigkeit** die **zulässige Windgeschwindigkeit** der Traglasttabelle, muss der Kranbetrieb eingestellt und der Ausleger abgelegt werden falls die zulässige Windgeschwindigkeit laut Windgeschwindigkeitstabelle des Krans überschritten wird.



	1	92 -	0 +	0 +	0 +	0 +	0 +	0 +	0 -	46 -	92 -
	2	46 +	0 +	0 +	0 +	0 +	0 -	46 -	46 +	46 +	46 +
	3	46 +	0 +	0 +	0 -	46 -	46 +	46 +	46 +	46 +	46 +
	4	0 +	0 -	46 -	46 +	46 +	46 +	46 +	46 +	46 +	46 +
	5	0 +	0 +	0 +	0 +	0 +	0 +	0 +	0 +	0 +	0 +
	m/s	11,1	14,3	14,3	14,3	12,8	12,8	12,8	12,8	11,1	11,1



Bild 16: Auszug aus dem Traglasttabellenbuch mit den zulässigen Windgeschwindigkeiten je Teleskopkonfigurationen



Windeinflüsse bei Kranbetrieb

4. 2. 3 Staudruck (p)

Trifft Wind auf eine federunterstützte Platte (siehe Grafik rechts), so wird diese mit Luft umströmt. Dabei staut sich ein Teil der Luft an der Oberfläche der Platte. Diese Stauung hat eine Druckerhöhung zur Folge, die die Platte gegen die Feder drückt. Dieser Druck wird **Staudruck** genannt.

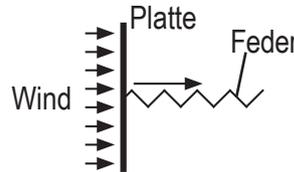
Erhöht sich die Windgeschwindigkeit (v) um das doppelte, so erhöht sich der Staudruck um das vierfache.

Formel Staudruck (p):

$$p = F_w : A_w$$

oder

$$p = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2$$



Definition
Staudruck

Luftdichte:
 $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

4. 2. 4 Windbelastung (F_w)

Um ein Windrad anzutreiben wird starker Wind benötigt. Das heißt, der **Staudruck** des Windes muss so groß sein, dass der Rotor zu drehen beginnt. Je größer die Windangriffsfläche des Rotors ist, desto kleiner muss der Staudruck des Windes sein, um ihn anzutreiben.

Formel Windbelastung (F_w):

$$F_w = A_w \cdot p$$

Definition Kraft

4. 3 Übungen

Übung 7

Sie müssen mit Ihrem Kran eine Fensterscheibe an einer Glasfassade austauschen. Die Fensterscheibe hat eine Projektionsfläche von 2,6 m² und einen c_w-Wert von 1,2. Berechnen Sie die Windangriffsfläche.

Antwort:

$$A_w = \quad \text{m}^2$$

Übung 8 (Ergänzen Sie den Lückentext!)

Überschreitet die Windgeschwindigkeit die Windgeschwindigkeit der Traglasttabelle, muss der Kranbetrieb und der Ausleger werden falls die zulässige Windgeschwindigkeit laut Windgeschwindigkeitstabelle des Krans wird.

Übung 9

Berechnen Sie die Kraft des Windes, welche auf die Fensterscheibe aus der Übung 7 wirkt, wenn ein Staudruck von 19 N/m² vorhanden ist.

Antwort:

$$F_w = \quad \text{N}$$





5. Bestimmung der zulässigen Windgeschwindigkeit

Mit folgenden Möglichkeiten kann die maximal zulässige Windgeschwindigkeit bestimmt werden:

- Methode (1): Windkraftdiagramm (vgl. Kap. 5.1)
- Methode (2): Formel (vgl. Kap. 5.2)
- Methode (3): Die Bestimmung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit aus den älteren Traglasttabellenbüchern (Diagramme 1 und 2) wird nicht mehr verwendet.

5.1 Methode (1): Windkraftdiagramm

Diese Form zur Ermittlung der zulässigen Windgeschwindigkeit ist Bestandteil des Traglasttabellenbuchs. Wir möchten Sie in diesem Kapitel über diese Methode informieren.



Ist die **Windangriffsfläche** der Last **größer** als die **1,2 m² pro t Last** so sind die maximal zulässigen Windgeschwindigkeiten der Traglasttabelle **nicht** mehr gültig. Vergleichen Sie in diesem Fall die maximal zulässige Windgeschwindigkeit der Traglasttabelle mit der Windgeschwindigkeit auf dem **Winkraftdiagramm**. Diese beiden Werte müssen übereinstimmen, da Sie sonst eine falsche Windgeschwindigkeit aus dem falschen Windkraftdiagramm auslesen. In diesem Fall könnte dies zu einem Unfall führen.



Windeinflüsse bei Kranbetrieb

5. 1. 1 Beispiel zur Ermittlung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen Standard-Lastfall

Eine Last wiegt **85 t**, hat einen c_w -Wert von **1,2** und eine Projektionsfläche von **50 m²**. Bei einem c_w -Wert von 1,2 und einer Projektionsfläche von 50 m² ergibt sich eine Windangriffsfläche von **60 m²**. Teilt man die Windangriffsfläche durch die Last, erhält man einen Wert von 0,71 m² pro t. Die Traglasttabelle hat in diesem Beispiel eine maximale Windgeschwindigkeit von 9 m/s. Aus diesem Grund muss das Windkraftdiagramm mit 9 m/s verwendet werden.

Zeichnen Sie nun auf dem **Windkraftdiagramm 9,0 m/s** (siehe Bild 19 Seite 31) bei dem Wert **60 m²** Windangriffsfläche eine **Linie 1** senkrecht nach oben. Anschließend zeichnen Sie bei der zu hebenden Last von **85 t** eine waagrechte **Linie 2** nach rechts ein. Am Schnittpunkt treffen sich die beiden Linien vor der 9 m/s – Geraden.

Dies bedeutet, dass die Last bis zu einer maximalen Windgeschwindigkeit von 9 m/s, wie in der Traglasttabelle angegeben, gehoben werden kann.

5. 1. 2 Beispiel zur Ermittlung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen speziellen Lastfall

Die zu hebende Last wiegt **65 t**, hat einen c_w -Wert von **1,4** und bei einer Projektionsfläche von **200 m²** eine Windangriffsfläche von **280 m²**. Teilt man die Windangriffsfläche durch die Last erhält man einen Wert von 4,31 m² pro t. Dieser Wert übersteigt die maximale Windangriffsfläche der Last von 1,2 m² pro t. Für den benötigten Rüstzustand ist laut Traglasttabelle eine maximale Windgeschwindigkeit von 11,1 m/s zulässig.

An Hand des Windkraftdiagramms 11,1 m/s (siehe Bild 22 Seite 32) muss nun die maximal zulässige Windgeschwindigkeit ermittelt werden.

Die maximal zulässige Windgeschwindigkeit beträgt für die Last **5,9 m/s**.

Die ermittelte maximal zulässige Windgeschwindigkeit von 5,9 m/s wird nicht in das LICCON-Computersystem übernommen. Bei Überschreitung der ermittelten maximal zulässigen Windgeschwindigkeit von 5,9 m/s erfolgt keine Warnung. Daher muss der Kranfahrer selbständig den Windgeschwindigkeitswert im LICCON-Computersystem beobachten. Wird die ermittelte maximale zulässige Windgeschwindigkeit erreicht, muss er den Lasthub abbrechen.

Beispiel 1

Windangriffsfläche:

$$1,2 \cdot 50 \text{ m}^2 = 60 \text{ m}^2$$

Beispiel 2

$$280 \text{ m}^2 / 65 \text{ t} = 4,31 \text{ m}^2/\text{t}$$





Windkraftdiagramm 7,0 m/s

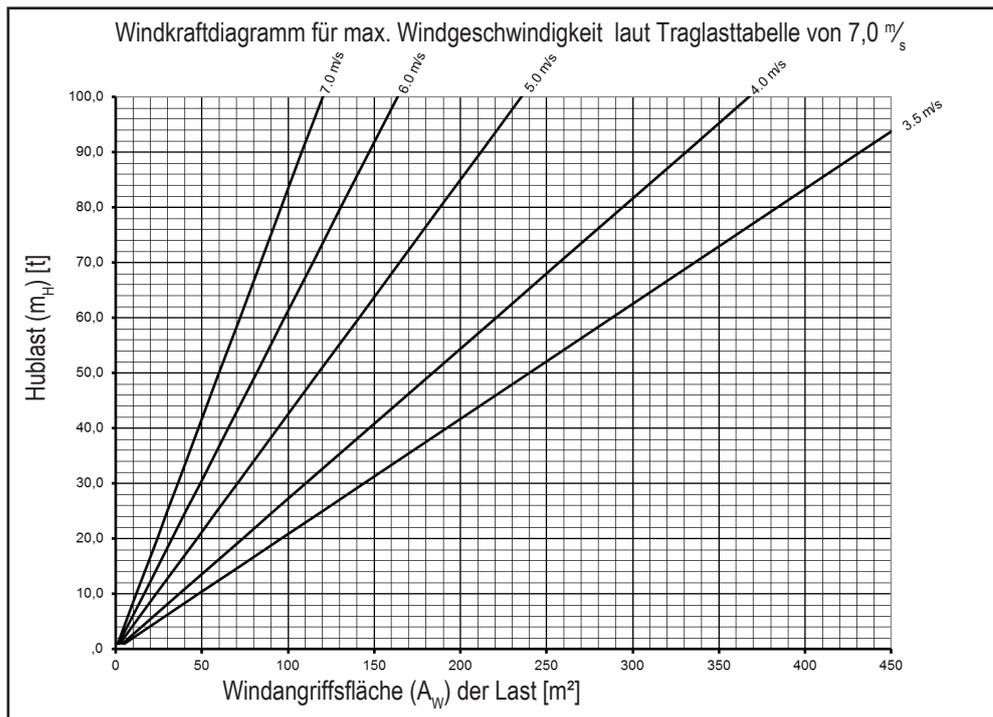


Bild 17: Windkraftdiagramm 7,0 m/s (nur gültig für Tabellen mit max. Windgeschwindigkeit von 7,0 m/s)

Windkraftdiagramm 8,6 m/s

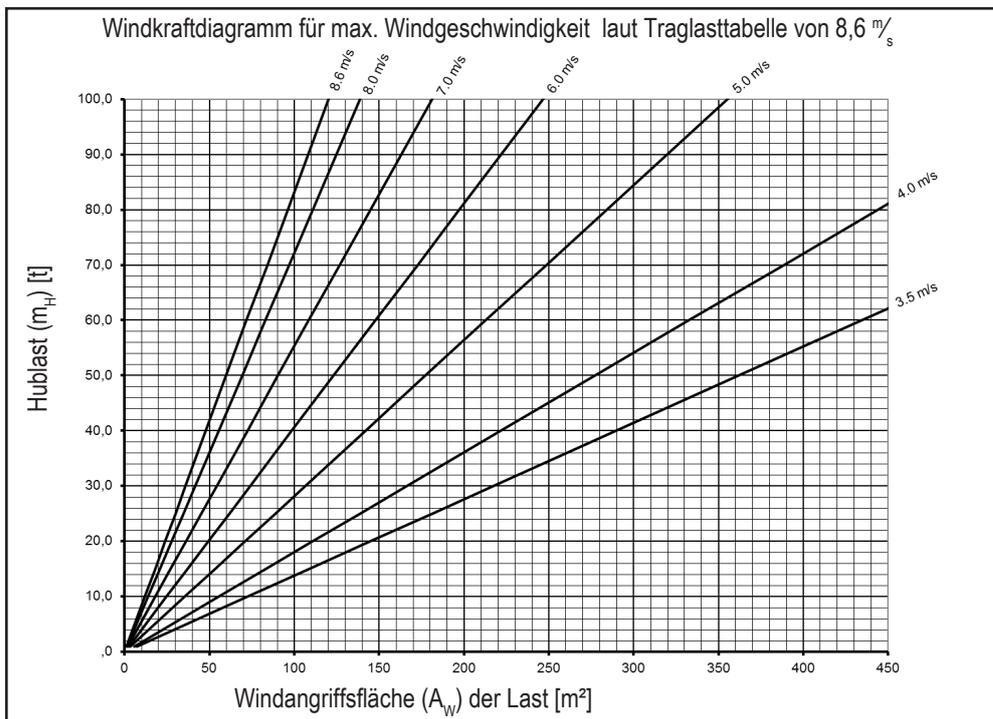
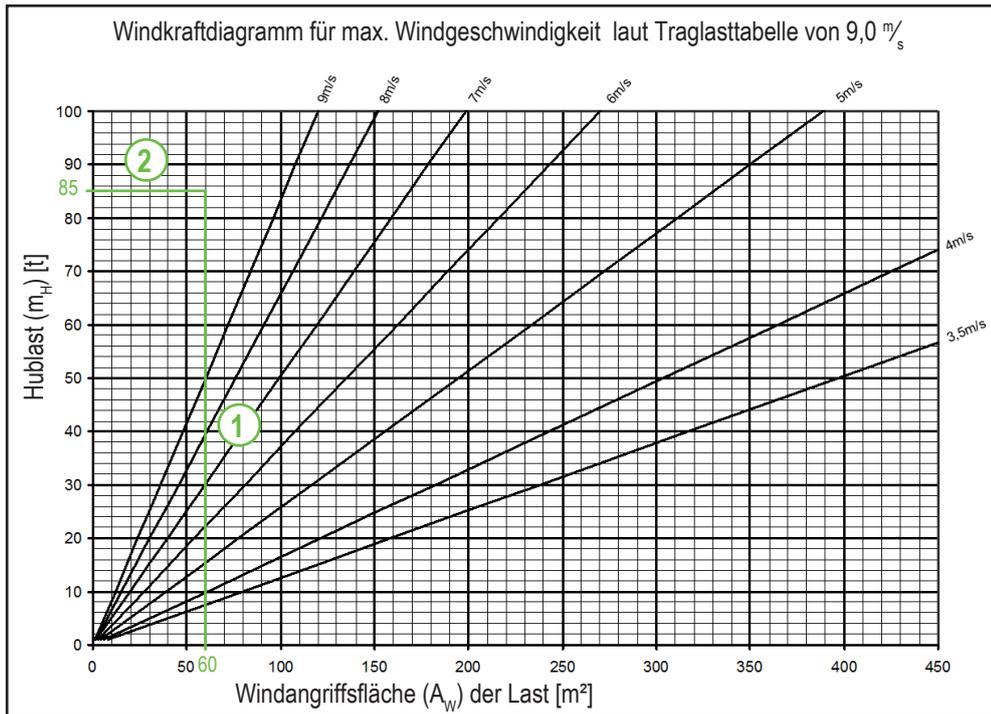
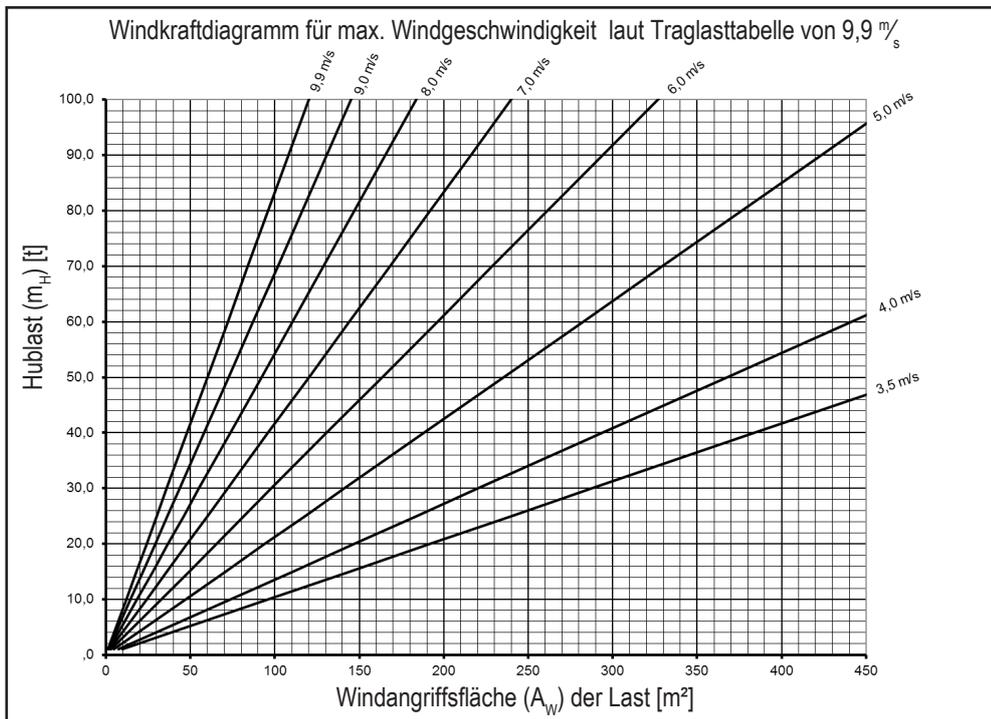


Bild 18: Windkraftdiagramm 8,6 m/s (nur gültig für Tabellen mit max. Windgeschwindigkeit von 8,6 m/s)



Windkraft-
diagramm
 $9,0 \frac{m}{s}$

Bild 19: Windkraftdiagramm $9,0 \frac{m}{s}$ (nur gültig für Tabellen mit max. Windgeschwindigkeit von $9,0 \frac{m}{s}$)



Windkraft-
diagramm
 $9,9 \frac{m}{s}$

Bild 20: Windkraftdiagramm $9,9 \frac{m}{s}$ (nur gültig für Tabellen mit max. Windgeschwindigkeit von $9,9 \frac{m}{s}$)



Windkraftdiagramm 11,1 m/s

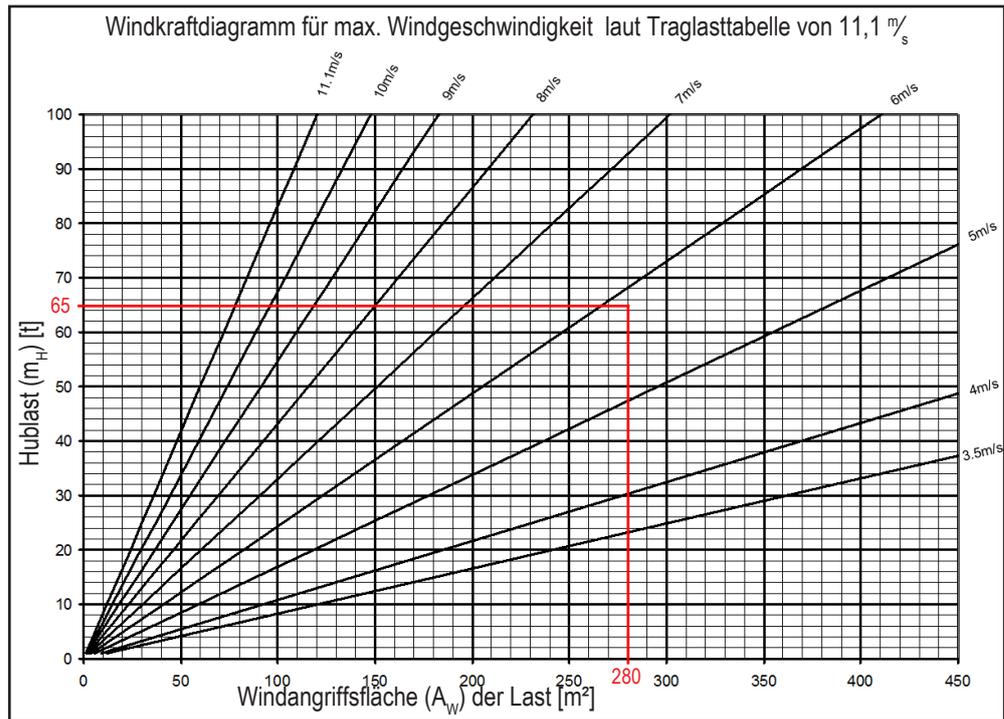


Bild 22: Windkraftdiagramm 11,1 m/s (nur gültig für Tabellen mit max. Windgeschwindigkeit von 11,1 m/s)

Windkraftdiagramm 12,8 m/s

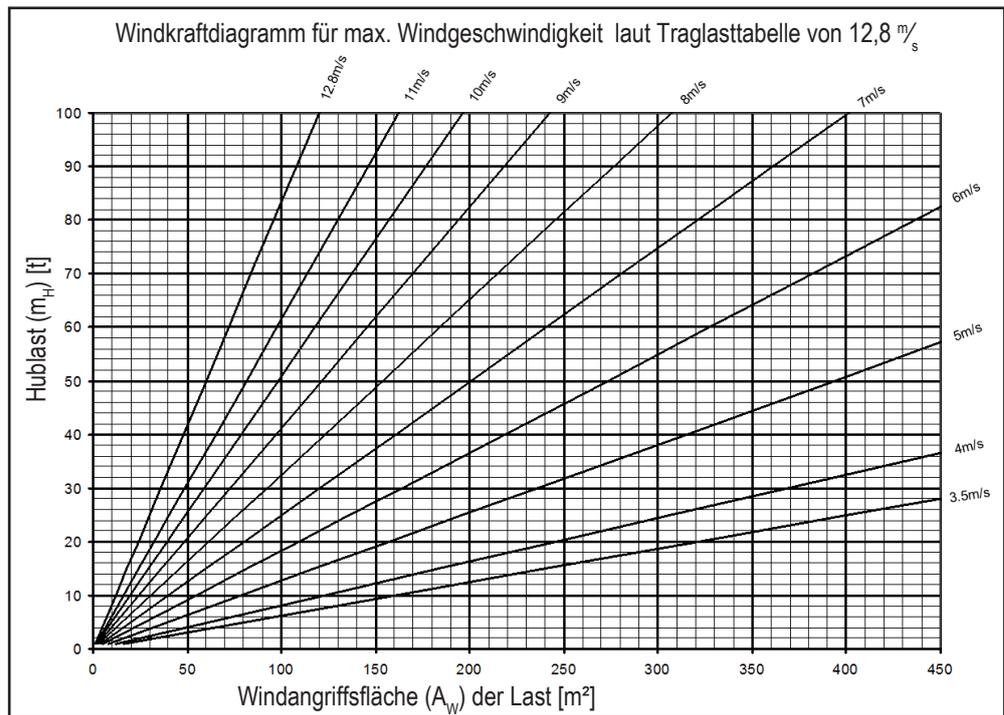
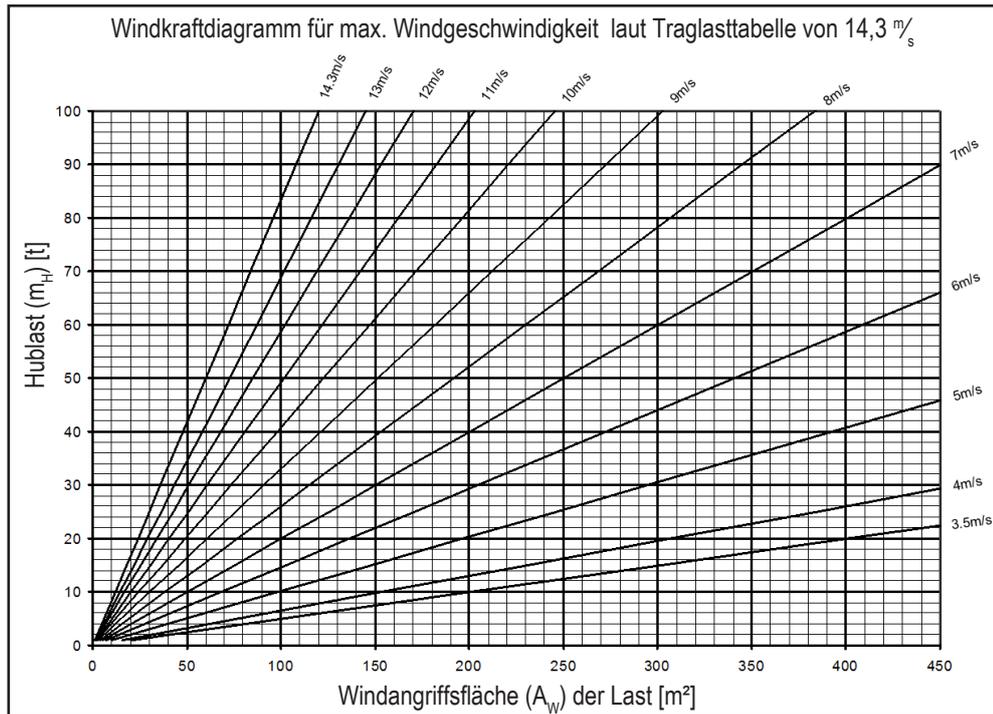


Bild 21: Windkraftdiagramm 12,8 m/s (nur gültig für Tabellen mit max. Windgeschwindigkeit von 12,8 m/s)



Windkraft-
diagramm
 $14,3 \frac{m}{s}$

Bild 23: Windkraftdiagramm $14,3 \frac{m}{s}$ (nur gültig für Tabellen mit max. Windgeschwindigkeit von $14,3 \frac{m}{s}$)



5. 2 Methode (2): Formel

Die zulässige Windgeschwindigkeit kann mit einer einzigen Formel berechnet werden. Hierzu sind folgende Daten im Voraus zu ermitteln:

- die Hublast (m_H) (inkl. Anschlagmittel, Hakenflasche und evtl. Hubseilanteil)
- die Windangriffsfläche (A_W)
- die maximale Windgeschwindigkeit laut Traglasttabelle

Formel zur Berechnung der zulässigen Windgeschwindigkeit:

$$v_{\max} = v_{\max_TAB} \cdot \sqrt{\frac{1,2 \frac{m^2}{t} \cdot m_H}{A_W}}$$

Der Wert 1,2 unter der Wurzel entspricht einer Konstanten und **nicht** dem c_W -Wert! Dieser Wert darf **nicht** verändert werden!

5. 2. 1 Beispiel zur Berechnung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen Standard-Lastfall

Beispiel 1

Windangriffsfläche:
 $1,2 \cdot 50 \text{ m}^2 =$
60 m²

Eine Last wiegt **85 t**, hat einen c_W -Wert von **1,2** und eine Projektionsfläche von **50 m²**. Bei einem c_W -Wert von 1,2 und einer Projektionsfläche von 50 m² ergibt sich eine Windangriffsfläche von 60 m². Die Traglasttabelle hat in diesem Beispiel eine maximale Windgeschwindigkeit von 9 m/s.

$$v_{\max} = 9 \frac{m}{s} \cdot \sqrt{\frac{1,2 \frac{m^2}{t} \cdot 85 \text{ t}}{60 \text{ m}^2}}$$

$$v_{\max} = 11,73 \frac{m}{s}$$



Ist das Ergebnis von v_{\max} **größer** als v_{\max_TAB} , kann die Last bis zu der angegebenen maximalen Windgeschwindigkeit aus der Traglasttabelle, hier 9 m/s, gehoben werden.

5. 2. 2 Beispiel zur Berechnung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen speziellen Lastfall

Beispiel 2

Windangriffsfläche:
 $1,4 \cdot 200 \text{ m}^2 =$
280 m²

Die zu hebende Last wiegt **65 t**, hat einen c_W -Wert von **1,4** und bei einer Projektionsfläche von **200 m²** eine Windangriffsfläche von **280 m²**. Für den benötigten Rüstzustand ist laut Traglasttabelle eine maximale Windgeschwindigkeit von 11,1 m/s zulässig.

$$v_{\max} = 11,1 \frac{m}{s} \cdot \sqrt{\frac{1,2 \frac{m^2}{t} \cdot 65 \text{ t}}{280 \text{ m}^2}}$$

$$v_{\max} = 5,86 \frac{m}{s}$$



Die Windgeschwindigkeit aus der Traglasttabelle reduziert sich von 11,1 m/s auf 5,86 m/s. Die Last darf bis zu einer maximalen Windgeschwindigkeit von 5,86 m/s gehoben werden.

Die ermittelte, maximal zulässige Windgeschwindigkeit von 5,86 m/s wird nicht in das LICCON-Computersystem übernommen. Bei Überschreitung der ermittelten, maximal zulässigen Windgeschwindigkeit von 5,86 m/s erfolgt keine Warnung. Daher muss der Kranfahrer selbständig den Windgeschwindigkeitswert im LICCON-Computersystem beobachten. Wird die ermittelte, maximal zulässige Windgeschwindigkeit erreicht, muss der Kranfahrer den Lasthub abbrechen.



Windeinflüsse bei Kranbetrieb

5. 3 Übungen

Übung 10

Sie müssen mit einem LTM 1150-6.1 (CODE 0050) eine Last mit 47 t und einer Windangriffsfläche von 235 m² auf 21 m Höhe bei einer Ausladung von 6 m heben. Der Kran ist mit einer Abstützbasis von 9,30 m x 8,30 m abgestützt. Das Gegengewicht beträgt 46,8 t.

Bestimmen Sie die richtige Telekonfiguration aus dem Auszug des Traglasttabellenbuches (siehe unten). Ermitteln Sie außerdem die zulässige Windgeschwindigkeit für diesen Hub mittels zuständigem Windkraftdiagramm (vgl. Kap. 5.1).



m	CODE > 0050 < T186.00301x(x)													
	13,7	18,5	18,5	18,5	23,3	23,3	23,3	23,3	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	32,9
3,0	96,4	81,8	61,6	57,5	71,6	61,2	58,4	41,2						
3,5	92,3	82,1	62,2	56,0	71,0	61,6	58,6	39,5	54,0	56,1	53,9	40,1		
4,0	85,6	82,5	62,7	54,6	70,0	62,0	58,3	37,8	53,5	55,6	53,4	38,3	37,2	
4,5	79,6	79,7	63,2	52,7	68,6	62,5	56,1	36,0	53,1	55,0	52,8	36,4	35,5	41,0
5,0	74,2	74,3	63,8	50,5	67,1	62,9	54,0	34,1	52,5	54,3	52,3	34,5	33,8	40,3
6,0	64,9	65,1	64,0	45,9	63,1	63,5	49,6	30,6	50,4	52,1	49,9	31,5	31,0	38,9
7,0	57,1	57,4	57,8	42,3	56,9	57,7	46,1	28,1	48,1	49,8	47,1	28,7	28,4	37,5
8,0	51,0	51,1	51,5	39,3	51,0	51,7	42,6	25,7	45,9	47,6	44,2	26,2	26,0	36,1
9,0	45,6	45,7	46,2	36,3	45,7	46,4	39,4	23,7	43,6	45,5	41,2	24,4	24,2	34,7
10,0	41,1	41,2	41,7	34,0	41,2	41,9	36,8	22,2	40,6	41,7	38,2	22,5	22,5	33,0
11,0	35,9	37,4	37,9	32,0	37,3	38,1	34,2	20,6	36,9	37,9	35,4	20,8	20,8	31,0
12,0		34,0	34,6	30,2	33,9	34,7	31,6	19,1	33,5	34,5	33,5	19,6	19,7	29,0
14,0		28,0	28,6	27,3	27,9	28,8	28,0	17,0	27,4	28,6	29,5	17,3	17,5	25,4
16,0		21,1	21,6	22,0	23,4	24,3	24,9	15,2	22,9	24,1	25,1	15,3	15,6	22,3
18,0					19,9	20,8	21,6	13,8	19,4	20,6	21,6	13,8	14,1	18,9
20,0					17,1	18,0	18,8	12,7	16,6	17,8	18,8	12,5	12,8	16,1
22,0									14,4	15,5	16,5	11,5	11,8	13,8
24,0									12,5	13,7	14,7	10,6	11,0	12,0
26,0														10,4
28,0														9,1
30,0														7,6
32,0														
34,0														
36,0														
38,0														
40,0														
42,0														
44,0														
46,0														
48,0														
50,0														
52,0														
54,0														
56,0														
* n *	12!	10	8	7	9	8	7	5	7	7	7	5	5	5
1	0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+	46+	0+	0+	0+	0+	92+
2	0+	0+	0+	0+	46+	0+	0+	0+	46+	46+	0+	0+	0+	46+
3	0+	46+	0+	0+	46+	46+	0+	0+	46+	46+	46+	0+	0+	46+
4	0+	0+	46+	0+	0+	46+	46+	0+	0+	46+	46+	92+	46+	0+
5	0+	0+	0+	46+	0+	0+	46+	92+	0+	0+	46+	46+	92+	0+
%														
m/s	14,3	14,3	14,3	14,3	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	11,1



Bild 24: Auszug aus dem Traglasttabellenbuch vom LTM 1150-6.1



Übung 11

Sie müssen mit einem LTM 11200-9.1 (CODE 0016) eine Last mit 45 t und einer Windangriffsfläche von 112 m² auf 42 m Höhe bei einer Ausladung von 18 m heben. Der Kran ist mit einer Abstützbasis von 13 m x 13 m abgestützt. Das Gegengewicht beträgt 22 t.

Bestimmen Sie die richtige Telekonfiguration aus dem Auszug des Traglasttabellenbuches (siehe unten). Ermitteln Sie außerdem die zulässige Windgeschwindigkeit für diesen Hub mittels zuständigem Windkraftdiagramm (vgl. Kap. 5.1).

		CODE > 0016 < V178 0F00 .x(x)													
		m >> t													
		18,3	24,1	24,1	30,0	30,0	30,0	35,8	35,8	41,6	41,6	41,6	47,5	47,5	47,5
m	m	18,3	24,1	24,1	30,0	30,0	30,0	35,8	35,8	41,6	41,6	41,6	47,5	47,5	47,5
		3,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0
3,5	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0
4,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	183,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0
4,5	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	176,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0
5,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	170,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0
6,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	158,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0
7,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	209,0	213,0	148,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0
8,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	189,0	213,0	139,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0
9,0	213,0	213,0	213,0	211,0	213,0	174,0	194,0	130,0	181,0	186,0	63,0	171,0	123,0	81,0	
10,0	211,0	192,0	196,0	171,0	184,0	158,0	160,0	121,0	151,0	159,0	59,0	144,0	116,0	76,0	
12,0	143,0	134,0	137,0	120,0	131,0	135,0	114,0	105,0	109,0	117,0	52,0	106,0	103,0	67,0	
14,0	100,0	98,0	100,0	89,0	99,0	104,0	85,0	92,0	83,0	90,0	46,0	82,0	93,0	60,0	
16,0	73,0	72,0	74,0	68,0	78,0	81,0	65,0	81,0	64,0	71,0	41,0	64,0	77,0	54,0	
18,0		55,0	57,0	53,0	60,0	63,0	51,0	70,0	51,0	57,0	37,0	51,0	64,0	48,0	
20,0		42,0	44,5	40,0	47,5	51,0	39,5	57,0	40,0	46,5	33,5	41,0	54,0	44,0	
22,0		32,0	34,5	29,7	38,0	41,0	30,5	47,5	31,5	37,5	31,0	32,5	45,0	40,0	
24,0				21,8	29,9	33,5	23,6	40,0	24,6	30,5	28,4	26,0	38,0	36,0	
26,0				15,5	23,4	26,8	17,2	33,5	19,0	24,9	26,0	20,6	32,5	33,5	
28,0					18,2	21,6	12,1	28,3	14,4	19,8	24,4	16,0	27,6	28,8	
30,0							7,8	23,8	10,3	15,4	22,7	12,2	23,1	24,2	
32,0								20,1	6,0	11,8	21,1	9,0	19,3	20,4	
34,0								17,1		8,7	20,0	5,3	16,1	17,1	
36,0										5,8	17,5		13,4	14,4	
38,0										3,0	15,0		11,0	11,9	
40,0											13,0		8,9	9,8	
42,0													7,1	8,0	
44,0															
46,0															
48,0															
50,0															
52,0															
54,0															
56,0															
58,0															
* n *	14	14	14	14	14	14	14	13	14	14	6	14	11	7	
1	0+	0+	0+	50+	0+	0+	50+	0+	50+	0+	0+	50+	0+	0+	
2	0+	50+	0+	50+	0+	0+	50+	0+	50+	0+	50+	0+	50+	0+	0+
3	0+	0+	50+	0+	50+	0+	50+	0+	50+	0+	50+	0+	50+	0+	0+
4	0+	0+	0+	0+	50+	50+	0+	0+	50+	50+	0+	50+	50+	100+	
5	0+	0+	0+	0+	0+	50+	0+	50+	0+	50+	0+	50+	0+	50+	50+
6	0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+	50+	0+	0+	100+	0+	50+	50+	50+
7	0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+	50+	0+	0+	100+	0+	50+	50+	50+
%															
m/s	14,3	14,3	14,3	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1
TAB ***	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019

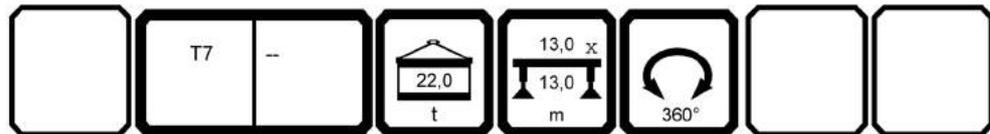


Bild 25: Auszug aus dem Traglasttabellenbuch vom LTM 11200-9.1



6. Schlussbemerkung

Der Windkraftboom der letzten Jahre hat viele Innovationen bei Kranherstellern hervorgebracht. Niemals zuvor wurden so viele Großgeräte in Betrieb genommen, um den wachsenden Anforderungen neuer Windkraftanlagen und den damit verbundenen Technologien gerecht zu werden, wie heute.

Beim Errichten einer modernen Windkraftanlage muss stets darauf geachtet werden, dass die Größe des Kranes nach dem Gewicht des Maschinenhauses und nach der Windangriffsfläche des Rotors in Abhängigkeit der Nabelhöhe bestimmt wird. Bei Reparaturarbeiten und Wartungsarbeiten muss dies ebenso berücksichtigt werden.

Der Einfluss des Windes auf Kran und Last ist stärker in den Fokus der Kranbetreiber bei der Montage der Windkraftanlagen gerückt, da Krane hier an Stellen eingesetzt werden, bei denen mit erhöhtem Wind gerechnet werden muss.

„Doppelte Windgeschwindigkeit bedeutet 4-fache Windbelastung auf Ausleger und Last“, so lautet die Regel.

Damit das Unfallrisiko besser eingeschätzt und somit Unfälle bei der Arbeit mit dem Kran vermieden werden können, haben wir mit vorliegendem Skript umfangreich zum Thema „Windeinflüsse bei Kranbetrieb“ informiert. Darüber hinaus stehen dem Leser bei weiteren Fragen kompetente Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der **LIEBHERR-Werk Ehingen GmbH** zur Verfügung.



7. Anhang

7. 1 Liebherr-Krane in der Windenergie

7. 1. 1 Aktuelle Mobilkrane (2012)

LTM 1350-6.1



Technische Daten LTM 1350-6.1	
Maximale Traglast	350 t bei 3 m
Teleskopausleger	70 m
Max. Hubhöhe	134 m
Fahrmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 440 kW
Kranmotor Leistung	Liebherr 4 Zylinder Turbo-Diesel 180 kW
Antrieb, Lenkung	12 x 8 x 10
Fahrgeschwindigkeit	80 km/h
Gewicht	72 t (6 x 12 t Achslast)
Windkraftanlagen - Größe	< 1 MW*

LTM 1400-7.1



Technische Daten LTM 1400-7.1	
Maximale Traglast	400 t bei 3 m
Teleskopausleger	60 m
Max. Hubhöhe	130 m
Fahrmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 440 kW
Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 240 kW
Antrieb, Lenkung	14 x 8 x 14
Fahrgeschwindigkeit	80 km/h
Gewicht	84 t (7 x 12 t Achslast)
Windkraftanlagen - Größe	< 1,5 MW*

LTM 1500-8.1



Technische Daten LTM 1500-8.1	
Maximale Traglast	500 t bei 3 m
Teleskopausleger	50/84 m
Max. Hubhöhe	145 m
Fahrmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 440 kW
Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 240 kW
Antrieb, Lenkung	16 x 8 x 12
Fahrgeschwindigkeit	77 km/h
Gewicht	96 t (8 x 12 t Achslast)
Windkraftanlagen - Größe	< 2 MW*

* Die angegebenen Windkraftanlagen-Größen sind nur Beispiele. Durch eine detaillierte Einsatzplanung unter Berücksichtigung der Windbelastung muss die richtige Krangröße bestimmt werden!



Windeinflüsse bei Kranbetrieb

Technische Daten LTM 1750-9.1	
Maximale Traglast	750 t bei 3 m
Teleskopausleger	52 m
Max. Hubhöhe	155 m
Fahrmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 500 kW
Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 270 kW
Antrieb, Lenkung	18 x 8 x 18
Fahrgeschwindigkeit	75 km/h
Gewicht	108 t (9 x 12 t Achslast)
Windkraftanlagen - Größe	2 MW*



LTM 1750-9.1

Technische Daten LTM 11200-9.1	
Maximale Traglast	1200 t bei 2,5 m
Teleskopausleger	100 m
Max. Hubhöhe	188 m
Fahrmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 500 kW
Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 270 kW
Antrieb, Lenkung	18 x 8 x 18
Fahrgeschwindigkeit	75 km/h
Gewicht	108 t (9 x 12 t Achslast)
Windkraftanlagen - Größe	2 - 3 MW*



LTM 11200-9.1

7. 1. 2 Aktuelle Teleskop-Raupenkrane (2012)

Technische Daten LTR 11200	
Maximale Traglast	1200 t bei 3 m
Bodenpressung	~ 14 t/m ²
Max. Hubhöhe	189 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 270 kW
zul. Steigfähigkeit	17,6 %
Gesamtgewicht	~ 380 t
Fahrgeschwindigkeit	max. 1,8 km/h
Gesamtballast	202 t
Windkraftanlagen - Größe	2 - 3 MW*



LTR 11200

* Die angegebenen Windkraftanlagen-Größen sind nur Beispiele. Durch eine detaillierte Einsatzplanung unter Berücksichtigung der Windbelastung muss die richtige Krangröße bestimmt werden!



7. 1. 3 Aktuelle Raupenkrane (2012)

LR 1350



Technische Daten LR 1350	
Maximale Traglast	350 t bei 6 m
Max. Ausladung	100 m
Max. Hubhöhe	150 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 270 kW
Spurbreite	7,2 m
Drehbühnenballast	max. 125 t
Zentralballast	max. 38 t
Derrickballast	max. 200 t x R 15 m
Windkraftanlagen - Größe	< 1,5 MW*

LR 1400



Technische Daten LR 1400/2	
Maximale Traglast	400 t bei 4,5 m
Max. Ausladung	120 m
Max. Hubhöhe	162 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 300 kW
Spurbreite	8,4 m
Drehbühnenballast	max. 155 t
Zentralballast	max. 43 t
Derrickballast	max. 260 t x R 15 m
Windkraftanlagen - Größe	< 2 MW*

LR 1400-W



Technische Daten LR 1400/2-W	
Maximale Traglast	400 t bei 4,5 m
Max. Ausladung	112 m
Max. Hubhöhe	132 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 300 kW
Spurbreite	3,6 m
Drehbühnenballast	max. 155 t
Derrickballast	max. 260 t x R 15 m
Windkraftanlagen - Größe	< 2 MW*

* Die angegebenen Windkraftanlagen-Größen sind nur Beispiele. Durch eine detaillierte Einsatzplanung unter Berücksichtigung der Windbelastung muss die richtige Krangröße bestimmt werden!



Windeinflüsse bei Kranbetrieb

Technische Daten LR 1600/2	
Maximale Traglast	600 t bei 10 m
Max. Ausladung	144 m
Max. Hubhöhe	188 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 370 kW
Spurbreite	7,5 m
Drehbühnenballast	max. 190 t
Zentralballast	max. 65 t
Derrickballast	max. 350 t x R 18 m
Windkraftanlagen - Größe	2 - 3 MW*



LR 1600/2

Technische Daten LR 1600/2-W	
Maximale Traglast	600 t bei 11 m
Max. Ausladung	144 m
Max. Hubhöhe	160 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 370 kW
Spurbreite	3,8 m
Drehbühnenballast	max. 190 t
Derrickballast	max. 350 t x R 18 m
Windkraftanlagen - Größe	2 - 3 MW*



LR 1600/2-W

Technische Daten LR 1750	
Maximale Traglast	750 t bei 7 m
Max. Ausladung	136 m
Max. Hubhöhe	191 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 400 kW
Spurbreite	8,8 m
Drehbühnenballast	max. 245 t
Zentralballast	max. 95 t
Derrickballast	max. 400 t x R 20 m
Windkraftanlagen - Größe	3 MW*



LR 1750

* Die angegebenen Windkraftanlagen-Größen sind nur Beispiele. Durch eine detaillierte Einsatzplanung unter Berücksichtigung der Windbelastung muss die richtige Krangröße bestimmt werden!



LR 11350



Technische Daten LR 11350	
Maximale Traglast	1350 t bei 12 m
Max. Ausladung	132 m
Max. Hubhöhe	197 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 640 kW
Spurbreite	11 m
Drehbühnenballast	max. 340 t
Zentralballast	max. 30 t
Derrickballast	max. 660 t x R 30 m
Windkraftanlagen - Größe	5 - 6 MW*

7. 1. 4 Aktuelle Gittermastkrane (2012)

LG 1750



Technische Daten LG 1750	
Maximale Traglast	750 t bei 7 m
Max. Ausladung	136 m
Max. Hubhöhe	191 m
Fahrmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 440 kW
Kranmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 400 kW
Antrieb, Lenkung	16 x 8 x 16
Fahrgeschwindigkeit	80 km/h
Gesamtballast	650 t
Windkraftanlagen - Größe	3 - 5 MW*

* Die angegebenen Windkraftanlagen-Größen sind nur Beispiele. Durch eine detaillierte Einsatzplanung unter Berücksichtigung der Windbelastung muss die richtige Krangröße bestimmt werden!



7. 2 Lösungen zu den Übungen

Lösung zu Übung 1:

- | | |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Windlast | <input type="checkbox"/> Windenergie |
| <input type="checkbox"/> Verdunstung | <input checked="" type="checkbox"/> Wind von hinten |
| <input checked="" type="checkbox"/> Wind von vorne | <input checked="" type="checkbox"/> Wind von der Seite |

Lösung zu Übung 2:

- Wind von hinten: Die LMB-Abschaltung erfolgt schon bei einer Last, die kleiner ist als die max. zulässige Traglast in der Traglasttabelle.
- Wind von vorne: Abschaltung erfolgt erst bei einer Last, die größer ist als die max. zulässige Traglast.
- Wind von der Seite: Es erfolgt keine LMB-Abschaltung.

Lösung zu Übung 3:

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

Lösung zu Übung 4:

Ein Wind mit der Windgeschwindigkeit von 42 km/h bringt starke Äste in Bewegung und Regenschirme sind schwierig zu benutzen.
Der Beaufortwert für 42 km/h beträgt, laut Tabelle, 6 Bft.

Lösung zu Übung 5:

- Auf dem Bild 12 sind Wälder und unebenes Land zu sehen, was der Rauigkeitsklasse von **3** entspricht.
- Auf dem Bild 13 ist eine Landschaft mit einigen Häusern und Bäumen mit Freiflächen zu sehen, was der Rauigkeitsklasse von **2** entspricht.



Lösung zu Übung 6:

- schwacher Wind auf Grund einer Luftdruckdifferenz
- heftiger Windstoß von kurzer Dauer
- heftiger Windstoß über einen Zeitraum von 3 Sekunden, höher als die durchschnittliche Windgeschwindigkeit

Lösung zu Übung 7:

$$2,6 \text{ m}^2 \times 1,2 = \underline{\underline{3,12 \text{ m}^2}}$$

Lösung zu Übung 8:

Überschreitet die **aktuelle** Windgeschwindigkeit die **zulässige** Windgeschwindigkeit der Traglasttabelle, muss der Kranbetrieb **eingestellt** und der Ausleger **abgelegt** werden falls die **zulässige** Windgeschwindigkeit laut Windgeschwindigkeitstabelle des Krans **überschritten** wird.

Lösung zu Übung 9:

$$3,12 \text{ m}^2 \times 19 \text{ N/m}^2 = \underline{\underline{59,28 \text{ N}}}$$

Lösung zu Übung 10:

Eine mögliche Telekonfiguration wäre, das Teleskop 4 und 5 bei 46 % zu verbolzen. Gemäß Windkraftdiagramm $12,8 \text{ m/s}$ beträgt die zulässige Windgeschwindigkeit **$6,2 \text{ m/s}$** .

Lösung zu Übung 11:

Eine mögliche Telekonfiguration wäre, das Teleskop 4 bei 100 % und die Teleskope 5 - 7 auf 50 % zu verbolzen. Gemäß Windkraftdiagramm $11,1 \text{ m/s}$ beträgt die zulässige Windgeschwindigkeit **$7,7 \text{ m/s}$** .



7. 3 Originalauszug aus der Norm: EN 13000

4.1.2.2 Windlasten

4.1.2.2.1 Windgeschwindigkeiten und -drücke

Zur Berechnung der Windlasten wird angenommen, dass der Wind horizontal aus der ungünstigsten Richtung, aber mit höhenabhängiger Geschwindigkeit weht.

Die Geschwindigkeit einer 3-Sekunden-Böe $v(z)$ [m/s], die auf einen Punkt in der Höhe z [m] wirkt und für die Berechnung ausschlaggebend ist, basiert auf einer über 10 min gemittelten Windgeschwindigkeit v [m/s] in 10 m Höhe über dem Boden oder über dem Meeresspiegel.

Die zulässige Windgeschwindigkeit für den Kran in und außer Betrieb wird abgeleitet aus der in der größten Höhe wirkenden Böengeschwindigkeit $v(z)$, die in den Nachweisen berücksichtigt wurde.

4.1.2.2.2 Windlasten aus Wind im Betrieb

Für die Berechnung der Lasteinwirkungen aus Wind im Betrieb kann vereinfacht angenommen werden, dass die am höchsten Punkt ermittelte Böengeschwindigkeit v_i (max. z) für die gesamte Höhe des Krans und des Auslegers gilt. Genauere, höhenabhängige Berechnungen der auf den Ausleger wirkenden Windkräfte sind zulässig, z. B. mit 10-m-Höhenintervallen.

Die mit dem zugehörigen Staudruck ermittelten, auf den Kran und seine Bauteile wirkenden Windkräfte sind mit den anderen betrieblichen Lasten zu kombinieren.

Die zulässige Windgeschwindigkeit v_i (max. z) ist auf den Tragfähigkeitstabellen und in der Betriebsanleitung anzugeben. Die hierbei zu Grunde gelegte Bezugsgröße für die Last (Windangriffsfläche je Masseneinheit (Gewichtseinheit) der Tragfähigkeit) ist ebenfalls anzugeben. Soweit nicht anders festgelegt, beträgt sie $1,2 \text{ m}^2/\text{t}$.

ANMERKUNG 1

Der Wert $1,2 \text{ m}^2/\text{t}$ basiert auf $C_w 1,2$.

Die auf die hängende Last wirkenden Windkräfte sind für die maximale Hubhöhe der Last zu ermitteln. Eine spezielle Prüfung für das Heben großflächiger Lasten ($>1,2 \text{ m}^2/\text{t}$) ist von Fall zu Fall erforderlich.

ANMERKUNG 2

Da ein sicherer Kranbetrieb nur im Bereich bis zur zulässigen Windgeschwindigkeit v_i (max. z) im Betrieb möglich ist, sollte die Geschwindigkeit in der größten Höhe durch ein Anemometer überwacht werden. Zur Vermeidung von Gefahren, insbesondere durch plötzliche Änderung der Windgeschwindigkeit und -richtung beim Durchzug von Wetterfronten, sollten Wetterberichte bei der Planung von Hebevorgängen berücksichtigt werden. In der Betriebsanleitung sollten Anordnungen für geeignete Maßnahmen angegeben werden, um den Kran (Ausleger) in eine sichere Position abzulassen.

ANMERKUNG 3

Fahrzeugkrane haben üblicherweise Auslegersysteme, die schnell und auf einfache Weise abgelassen werden können. Dadurch können Gefährdungen durch plötzliche Änderungen der Windgeschwindigkeit und Zunahme der Böengeschwindigkeit in kurzer Zeit (z. B. innerhalb von 5 min) gemindert werden.



4.1.2.2.3 Windlasten infolge Wind außer Betrieb (Kran nicht im Einsatz)

a) Sturmwind außer Betrieb

Zur Berechnung der Lastwirkung aus Wind außer Betrieb kann eine mittlere, regional unterschiedliche Bezugs-Windgeschwindigkeit angenommen werden. Die Bezugs-Windgeschwindigkeit v_{ref} wird über 10 min in 10 m Höhe über Grund oder über dem Meeresspiegel ermittelt. In Europa gelten folgende Werte (siehe Anhang N.3):

Region A B C D E

v_{ref} [m/s] 24 24 28 32 36

Ein Kran gilt als konstruktiv sicher, wenn alle erforderlichen Nachweise, auch die Wirkungen aus den höhenabhängigen 3-Sekunden-Böengeschwindigkeiten, basierend auf einer Bezugswindgeschwindigkeit geführt werden (siehe Gleichungen in 4.1.2.2.1. und Anhang N.1 und N.2).

b) Grenzgeschwindigkeit außer Betrieb

Zur Berechnung der Lastwirkung aus Wind außer Betrieb ist die 3-Sekunden-Böengeschwindigkeit in der größten Höhe v_a (max. z) zu berücksichtigen (siehe Anhang N.1 und N.2). Die geforderte Sicherheit muss für alle zulässigen Rüstzustände und/oder Stellungen des Kranes nachgewiesen werden.

Eine genauere höhenabhängige Berechnung der in einer solchen Konfiguration und/oder Stellung bei einer ausschlaggebenden Windböe (3-Sekunden-Windböe) auf den Ausleger wirkenden Windkräfte ist zulässig, z. B. in einer Abstufung in 10-m-Höhenintervallen.

Die mit dem zugehörigen Staudruck ermittelten, auf den Kran und seine Bauteile wirkenden Kräfte sind mit den Eigenlasten und, wo erforderlich, mit anderen geometrischen Einflussgrößen (z. B. Unebenheit des Geländes) zu kombinieren.

ANMERKUNG 1

Ein Kran, der für die Wirkung der aus kranpezifischen Grenzwerten ermittelten Windgeschwindigkeiten v_a (max. z) sicher ist, sollte nur bis zu der daraus abgeleiteten Böengeschwindigkeit in diesem Rüstzustand und/oder in dieser Stellung verbleiben.

In der Betriebsanleitung ist anzugeben, welche Maßnahmen durch den Kranführer zu treffen sind, um den Kran vor einer Überschreitung von v_a (max. z) durch geeignete Sicherungsmaßnahmen z. B. Ablassen oder eintelekopieren des Auslegers in einen wieder sicheren Zustand zu überführen. In der Betriebsanleitung sind Anordnungen für geeignete Maßnahmen zur Sicherung des Kranes zu geben.

ANMERKUNG 2

Da die Sicherheit eines Kranes nur im Bereich bis zur zulässigen Windgeschwindigkeit v_a (max z) (im Betrieb oder) außer Betrieb sichergestellt ist, sollte durch eine vorausschauende Einsatzplanung, die Wetterberichte mit einschließt, sichergestellt werden, dass eine Überschreitung dieses Grenzwertes ausgeschlossen wird.

Quelle: EN13000



P 403.D:01.12

Änderungen vorbehalten

Liebherr-Werk Ehingen GmbH

Postfach 1361, D-89582 Ehingen/Do.

www.liebherr.com, E-Mail: Schulungszentrum.LWE@liebherr.com