

Schulungsunterlage

# Windeinflüsse bei Kranbetrieb



# LIEBHERR

**Impressum:**

4. Auflage

Liebherr-Werk Ehingen GmbH

Dr.-Hans-Liebherr-Straße 1

D-89582 Ehingen/Donau

[www.liebherr.com](http://www.liebherr.com)

[Schulungszentrum.LWE@liebherr.com](mailto: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, damit der Kran nie wegen Windeinflüssen in einen unsicheren Zustand gerät.

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
- die neue maximal erlaubte Böenwindgeschwindigkeit berechnen können



## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung und Problemstellung</b> .....	<b>7</b>
1. 1 Windeinfluss auf den Kran und die Last.....	8
1. 2 Übungen.....	11
<b>2. Grundwissen „Wind“</b> .....	<b>12</b>
2. 1 Windböen und Rauigkeit .....	14
2. 2 Wind- und Wetterinformationen.....	17
2. 2. 1 Höhenabhängige Windböengeschwindigkeit .....	18
2. 3 Übungen.....	19
<b>3. Exkurs – Schema einer Windkraftanlage</b> .....	<b>20</b>
<b>4. Faktoren der Windkraftberechnung</b> .....	<b>22</b>
4. 1 Vorhandene Werte abfragen .....	22
4. 1. 1 Gewicht der Hublast ( $m_H$ ) .....	22
4. 1. 2 maximale Projektionsfläche ( $A_p$ ).....	22
4. 1. 3 $c_w$ -Wert.....	23
4. 1. 4 aktuelle Windgeschwindigkeit ( $v_{act}$ ).....	23
4. 2 Nicht vorhandene Werte ermitteln bzw. berechnen.....	25
4. 2. 1 Windangriffsfläche ( $A_w$ ) .....	25
4. 2. 2 Zulässige Windgeschwindigkeit aus Traglasttabellenbuch .....	25
4. 2. 3 Staudruck ( $p$ ).....	26
4. 2. 4 Windbelastung ( $F_w$ ) .....	26
4. 3 Übungen.....	26
<b>5. Bestimmung der zulässigen Windgeschwindigkeit</b> .....	<b>27</b>
5. 1 Methode (1): Windkraftdiagramm.....	27
5. 1. 1 Beispiel zur Ermittlung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen speziellen Lastfall .....	28
5. 1. 2 Beispiel zur Ermittlung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen Standard-Lastfall .....	28
5. 2 Methode (2): Formel.....	33
5. 2. 1 Beispiel zur Berechnung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen speziellen Lastfall.....	33
5. 2. 2 Beispiel zur Berechnung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen Standard-Lastfall .....	33
5. 3 Übungen.....	34



## Windeinflüsse bei Kranbetrieb

<b>6. Windeinflüsse bei „Kran außer Betrieb“</b> .....	<b>36</b>
6. 1 Vorgehensweise bei einer Unterbrechung der Kranarbeit.....	37
6. 2 Anwenden der Windtabellen.....	38
6. 2. 1 Beispiel Teleskopkrane:.....	38
6. 2. 2 Beispiel Gitterkrane: .....	41
<b>7. Schlussbemerkung</b> .....	<b>44</b>
<b>8. Anhang</b> .....	<b>45</b>
8. 1 Liebherr-Krane in der Windenergie .....	45
8. 1. 1 Aktuelle Mobilkrane (2016).....	45
8. 1. 2 Aktuelle Teleskop-Raupenkrane (2016) .....	47
8. 1. 3 Aktuelle Raupenkrane (2016).....	47
8. 1. 4 Aktuelle Gittermastkrane (2016).....	50
8. 2 Lösungen zu den Übungen .....	51

## Begriffsdefinition

N	Newton (Einheit für die Kraft)
$C_w$	Windwiderstandsbeiwert (Strömungswiderstandskoeffizient)
$A_p$	Projektionsfläche eines Körpers (m <sup>2</sup> )
$A_w$	Windangriffsfläche (m <sup>2</sup> )
$v_{max}$	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 <sup>2</sup> )
$F_w$	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.



Jegliche Beschreibung der Windgeschwindigkeit in diesem Dokument bezieht sich immer auf die Windböengeschwindigkeit, da diese immer höher ist als die normale Windgeschwindigkeit. Demzufolge muss bei der Berechnung immer die Windböengeschwindigkeit als Grundlage verwendet werden.



### 1. Einführung und Problemstellung

Häufig sind Wind und auftretende Windböen ein unterschätzter Faktor beim Einsatz von Mobil- oder Raupenkränen mit schweren Unfällen als Folge. 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.

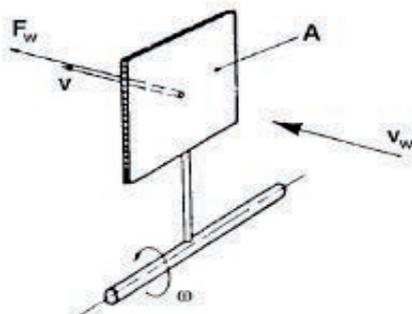


Bild 1: Widerstandsprinzip

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.

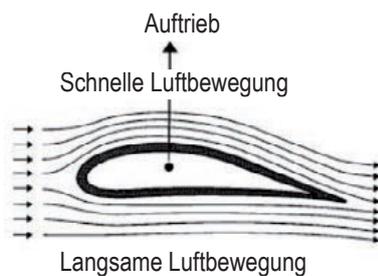


Bild 2: Auftriebsprinzip

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

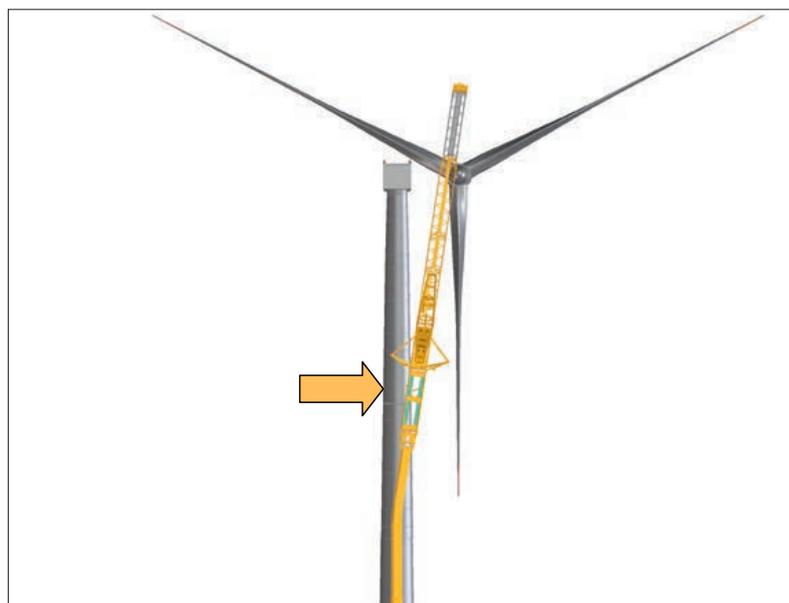


Bild 4: Wind von der Seite



### Unfallgefahr!

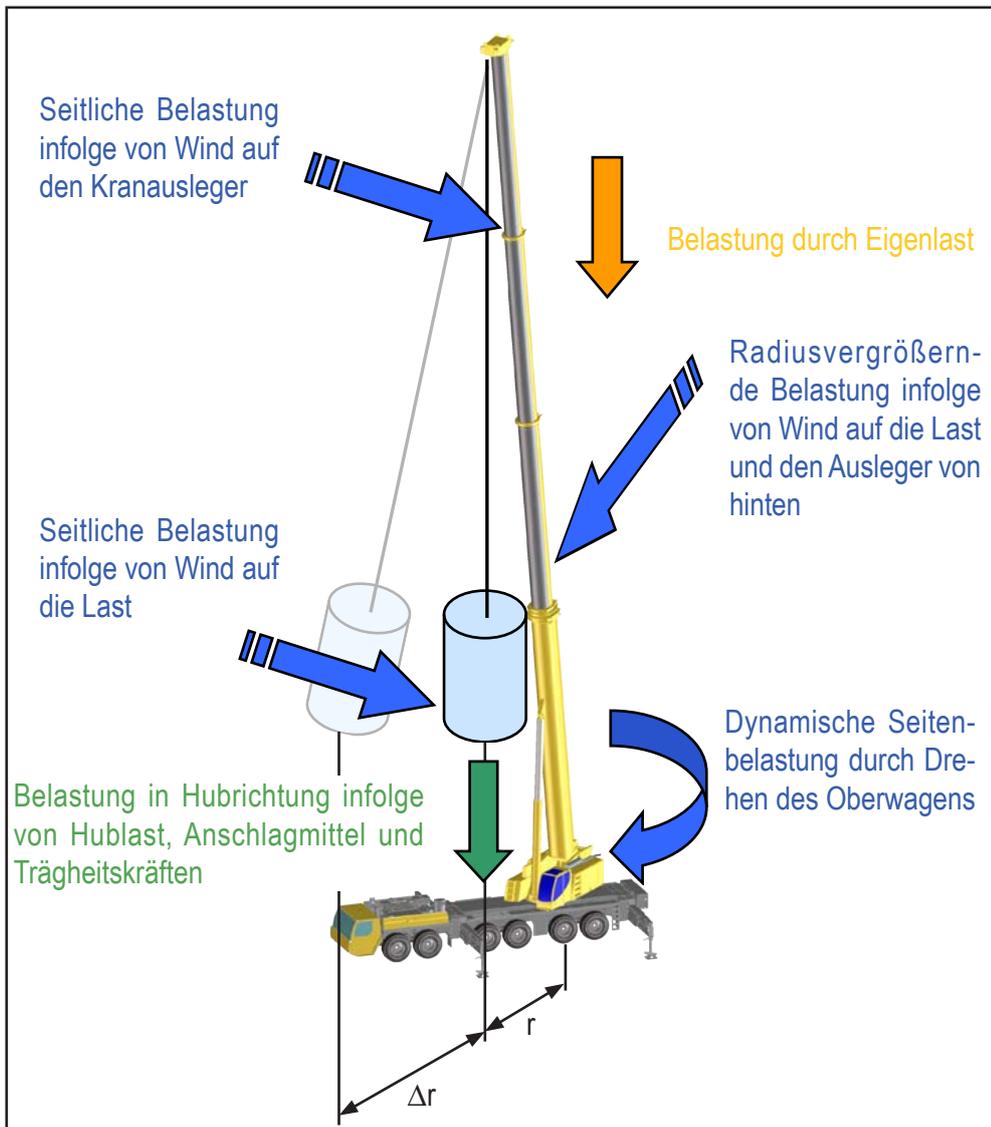
Der Wind von vorne reduziert nicht die Belastung von Haken, Hubseil, Hubseilrollen und Hubwinde, da die Last weiterhin mit Ihrer Gewichtskraft (vgl. Kap. 4.1.1) wirkt. Bei Wind von vorne können diese Baugruppen durch Lastheben bis zur Lastmomentbegrenzung (LMB)-Abschaltung überlastet werden! Durch die 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.

Wind von der Seite

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



Mögliche Belastungen auf den Kran

$r$  = Radius  
 $\Delta r$  = 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



## Windeinflüsse bei Kranbetrieb

### Überblick über Gefahren durch Wind



	Wind von vorne	Wind von hinten	Wind von der Seite
Ausleger	Bei Wind von vorne wird das <b>Auslegersystem</b> 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 <b>Auslegersystem</b> 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 <b>Auslegersystem</b> 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 Windböengeschwindigkeiten 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 Windböengeschwindigkeiten 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 am Auslegerkopf 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



Wie entsteht  
Wind?

## 2. Grundwissen „Wind“

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

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.

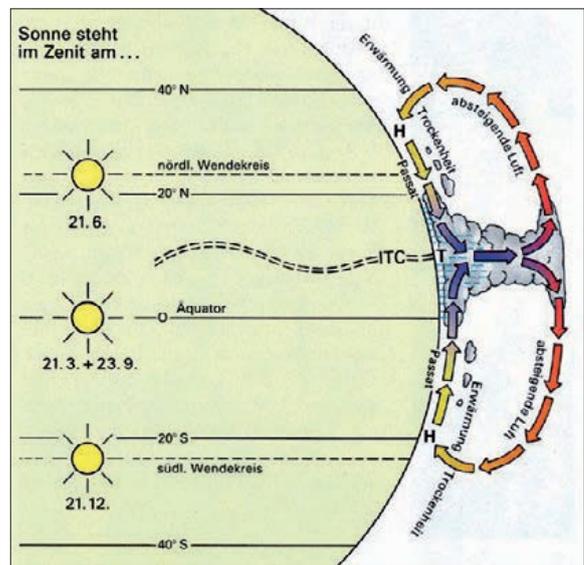
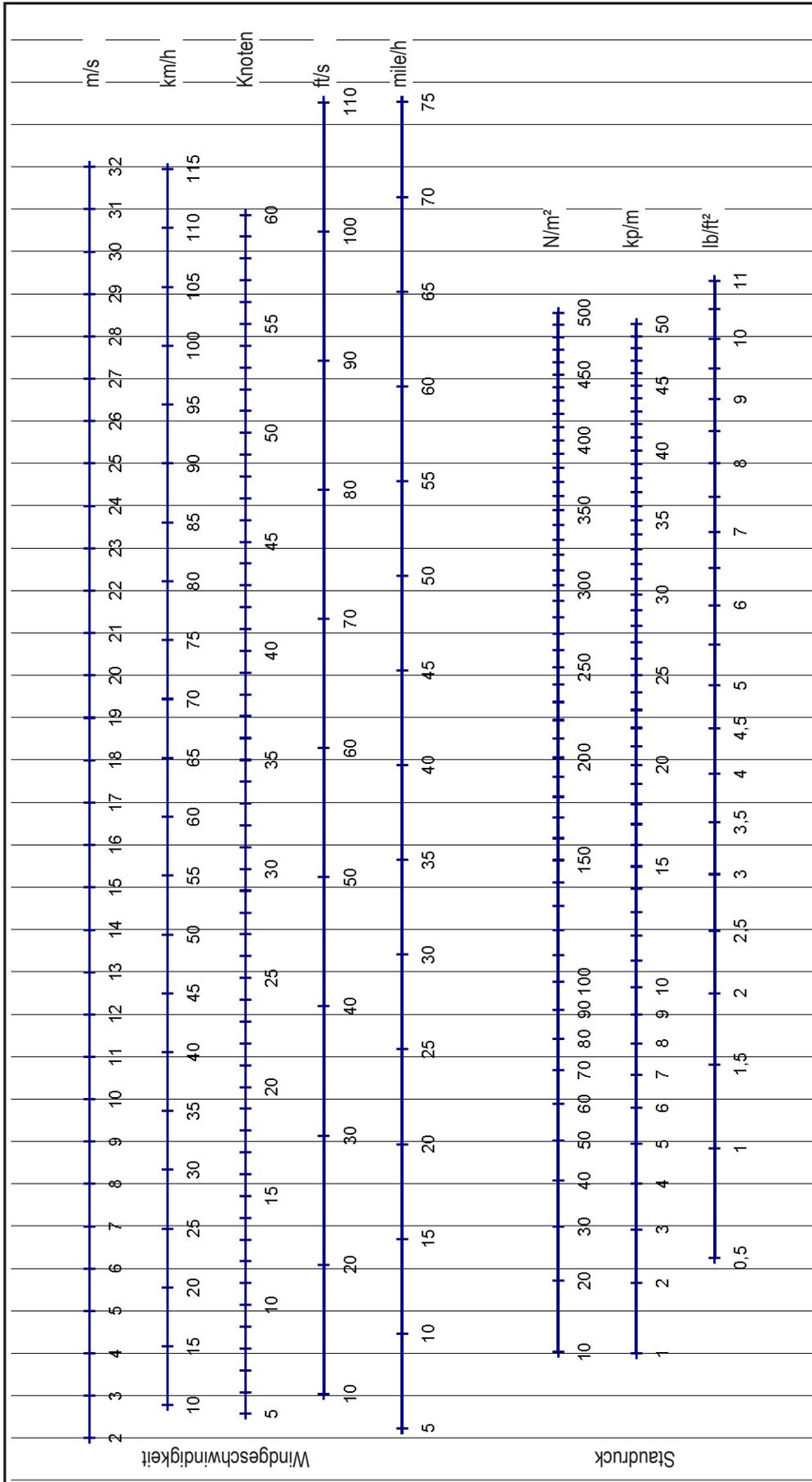


Bild 6: Die Entstehung von Wind

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 Windgeschwindigkeit und Staudruck



Was ist eine Windböe?

## 2. 1 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 km/h oder mehr 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

Definition einer Windböe nach EN 13000

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.



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

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.

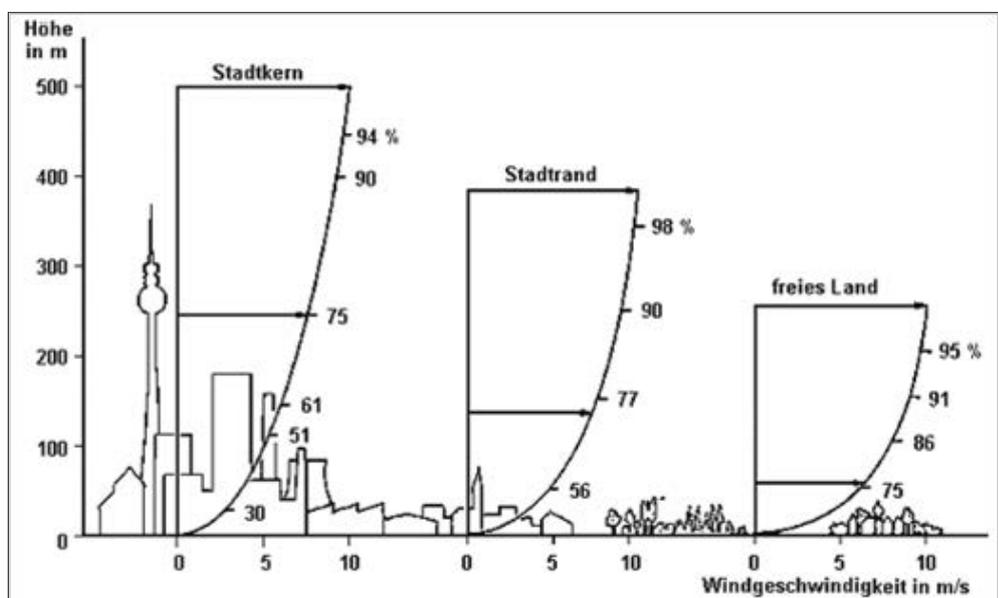


Bild 10: Schaubild zu den verschiedenen Rauigkeitsklassen

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.

Verhalten des Windes in großen Höhen

Windgeschwindigkeit bei verschiedenen Rauigkeitsklassen



## Windeinflüsse bei Kranbetrieb

Rauigkeits-  
klassen im  
Überblick

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 1: Rauigkeitsklassen



Das Phänomen  
„Düsen-Effekt“

In Städten mit hohen Gebäuden liegt die Rauigkeit bei 4 (vgl. Tabelle 1). 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.



# Windeinflüsse bei Kranbetrieb

## 2. 2 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 oder den Kran aufzurichten.



Aktuelle Wetterdaten finden Sie auch über das Internet (z.B. [www.windfinder.com](http://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.**

Ändern der Einheit von [m/s] in [knt]

Ort

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

Datum

Windrichtung	07h	08h	09h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h
Windstärke (m/s)	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	1	2
Windböe (m/s)	5	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	2	2

Windwerte aus dem Internet

Bild 11: Bildschirmansicht von der Seite [www.windfinder.com](http://www.windfinder.com)

Kann der Kran am Einsatzort bei Arbeitsunterbrechung nicht abgelegt werden, müssen für den gesamten Einsatzzeitraum die auftretenden Windgeschwindigkeiten eingeholt werden. Die auftretenden Windgeschwindigkeiten dürfen die zulässigen Windgeschwindigkeiten aus den Windtabellen nicht überschreiten.





Höhenabhängige  
Windgeschwindigkeit

## 2. 2. 1 Höhenabhängige Windböengeschwindigkeit

Das Wetteramt liefert in der Regel die über 10 Minuten gemittelte Windgeschwindigkeit und / oder die entsprechende Windböengeschwindigkeit, jeweils bezogen auf 10 m Höhe. Je nachdem, welche der beiden Informationen vorliegt, müssen für die Ermittlung der höhenabhängigen Windböengeschwindigkeit andere Faktoren berücksichtigt werden. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Liegen vom Wetteramt die Windböengeschwindigkeiten in 10 m Höhe vor, so müssen für die Berechnung der Windböengeschwindigkeit bei entsprechender Arbeitshöhe die Faktoren in der blau markierten Spalte herangezogen werden.

Liegen allerdings nur Werte der über 10 min gemittelten Windgeschwindigkeit vor, muss die gelb markierte Spalte verwendet werden. Mit diesen Faktoren kann die Windböengeschwindigkeit in der vorhandenen Arbeitshöhe berechnet werden.

Arbeitshöhe	Faktoren bei vorhandener über 10 Minuten gemittelter Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	Faktoren bei vorhandener Windböengeschwindigkeit in 10 m Höhe
10	1,400	1,000
20	1,502	1,073
30	1,566	1,119
40	1,614	1,153
50	1,653	1,181
60	1,685	1,204
70	1,713	1,224
80	1,738	1,241
90	1,760	1,257
100	1,780	1,272
110	1,799	1,285
120	1,816	1,297
130	1,832	1,309
140	1,847	1,319
150	1,861	1,329
160	1,874	1,339
170	1,887	1,348
180	1,899	1,356
190	1,910	1,364
200	1,921	1,372

Tabelle 2: Faktoren zur Ermittlung der Höhenabhängigen Windböengeschwindigkeit auf Basis der Wind-/ Böengeschwindigkeit in 10 m Höhe

Beispiel

$$6,2 \text{ m/s} \times 1,272 = 7,89 \text{ m/s}$$

Sie erhalten z.B. vom Wetteramt eine Böengeschwindigkeit von 6,2 m/s in 10 Metern über dem Grund.

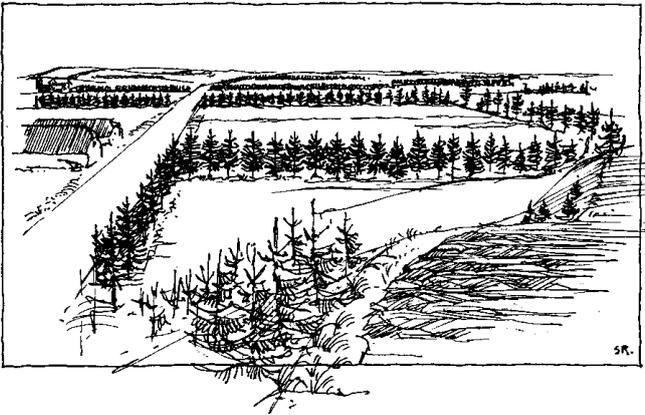
Sie haben z.B. eine max. Arbeitshöhe von 100 Metern. Laut Berechnung (siehe links) beträgt die Windböengeschwindigkeit in 100 m Höhe **7,89 m/s**. Bei einer maximal zulässigen Böengeschwindigkeit von 9 m/s laut Traglasttabelle darf der Lasthub durchgeführt werden.



## 2. 3 Übungen

### Übung 4

Bestimmen Sie an Hand der „Tabelle 1: Rauigkeitsklassen“ welche Rauigkeit in den beiden unten aufgeführten Bildern besteht!



Antwort:

Bild 12: Bestimmen Sie die Rauigkeitsklasse!



Antwort:

Bild 13: Bestimmen Sie die Rauigkeitsklasse!

### Übung 5

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

### Übung 6

Ermitteln Sie mit Hilfe von „Bild 11“ (Seite 17) und der „Tabelle 2“ (Seite 18) welche Windböenwindgeschwindigkeit am Hamburger Airport des 9.Juli um 15 Uhr in 140 Meter Höhe herrscht?

Antwort:

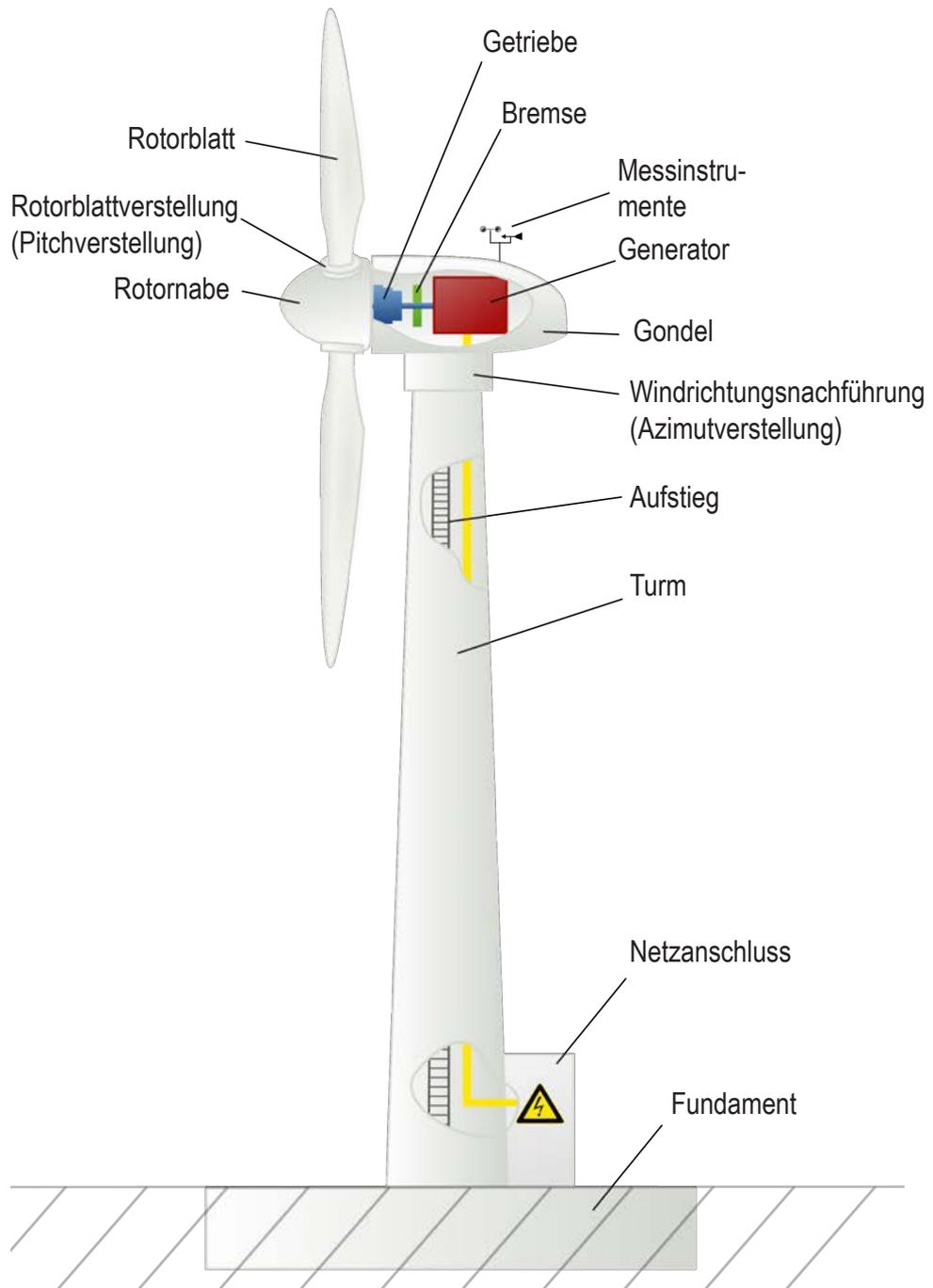


### 3. Exkurs – Schema einer Windkraftanlage

*In diesem Kapitel lernen Sie den schematischen Aufbau einer Windkraftanlage 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

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.

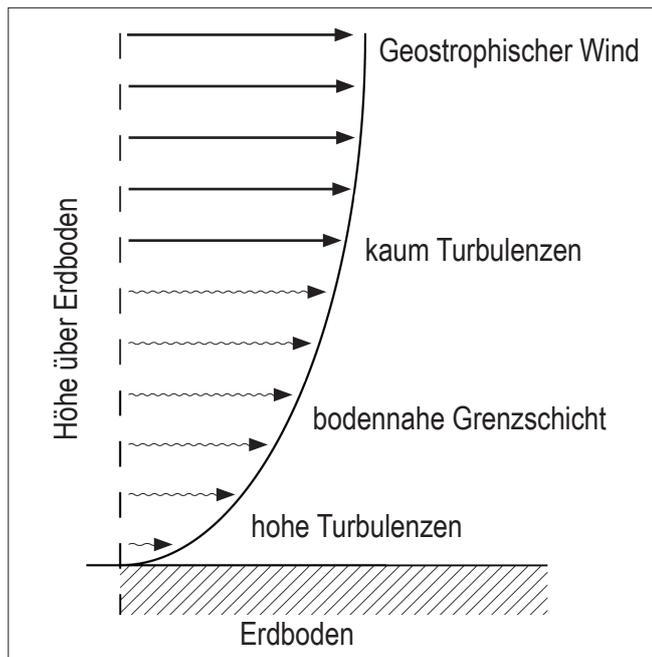


Bild 14: Turbulenzen in verschiedenen Höhenlagen

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.

### Aufbau von Luftschichten

Wo kommen welche Turbulenzen vor



## 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 ( $m_H$ )

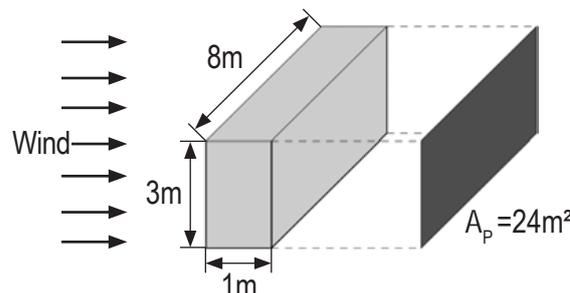
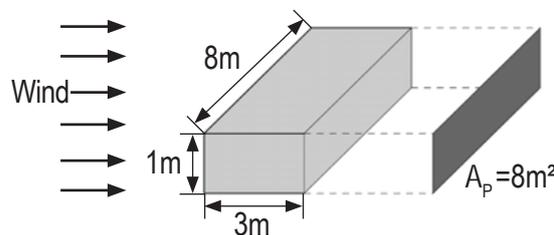
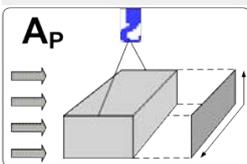
Das Gewicht der zu hebenden Hublast (Last und Haken) wird in Kilogramm (kg) oder Tonnen (t) gemessen. Das Gewicht der Last kann der Kranfahrer aus dem Lieferschein bzw. direkt an der Last ablesen oder beim Hersteller erfragen. Eine Last, von der das Gewicht, der  $c_w$ -Wert und die Projektionsfläche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

Definition Gewicht der Hublast

Definition Projektionsfläche



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.**



## Windeinflüsse bei Kranbetrieb

### 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.

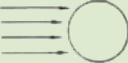
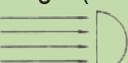
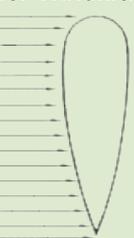
Körper	Widerstandsbeiwert $c_w$
Platte/ Quader 	1,1 bis 2,0
Zylinder 	0,6 bis 1,0
Kugel 	0,3 bis 0,4
Halbkugel (vorne) 	0,2 bis 0,3
Halbkugel (hinten) 	0,8 bis 1,2
Rotor einer Windkraftanlage 	ca. 1,6

Tabelle 3:  $c_w$ -Werte von gängigen Körpern

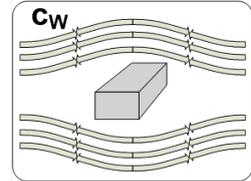
### 4. 1. 4 aktuelle Windgeschwindigkeit ( $v_{act}$ )

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](http://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 zu erwartende/ aktuelle Windböen-/ Windgeschwindigkeit für den Zeitraum des Lasthubes eingeholt werden.

### Definition Widerstandsbeiwert



Woher bekomme ich die aktuelle Windgeschwindigkeit?





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. Dabei sind die zulässigen Windgeschwindigkeiten der Windtabelle bzw. der Aufricht- und Ablegetabelle zu beachten.

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.

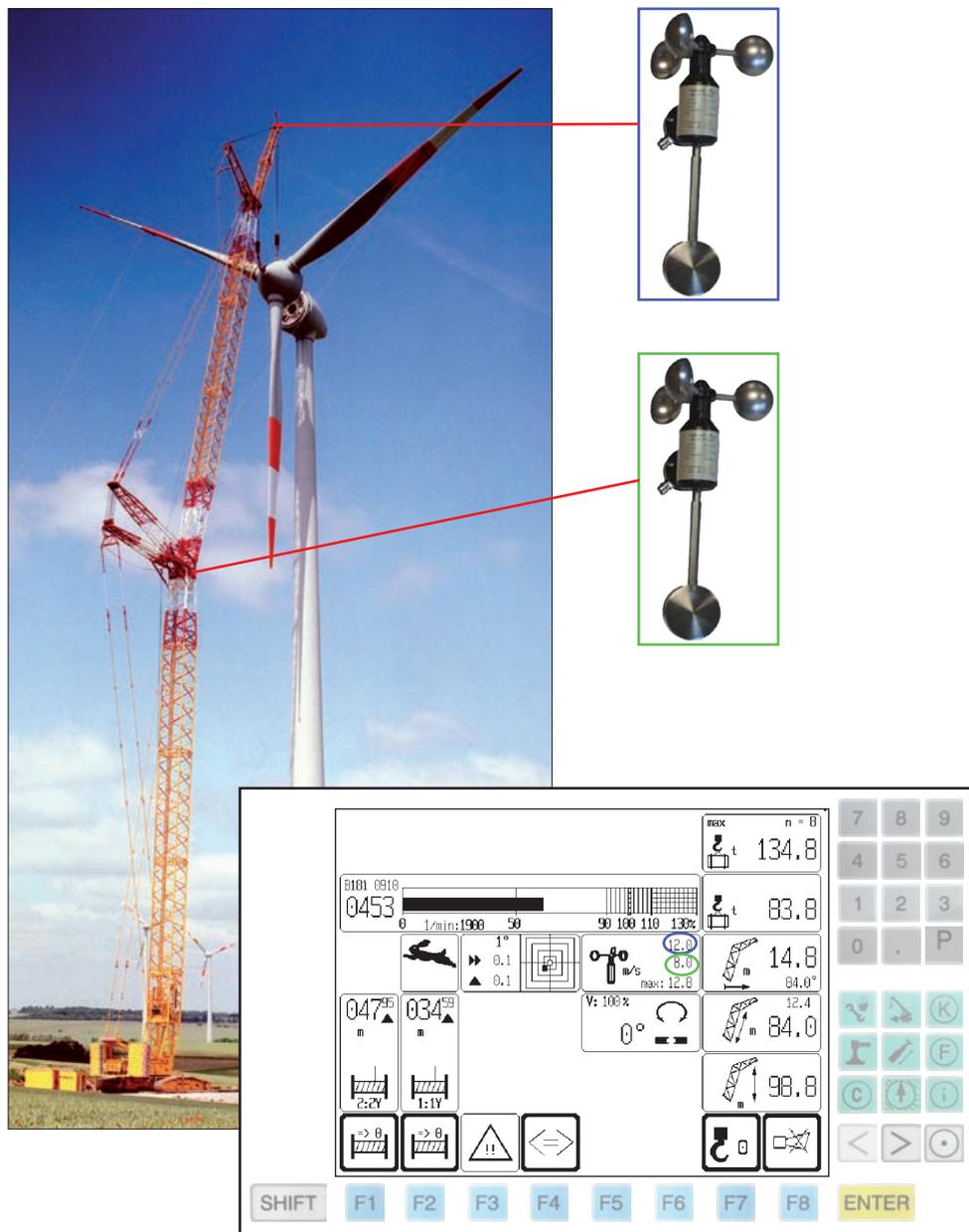


Bild 15: Anbauposition der Windgeber und Betriebsbild LICCON



## Windeinflüsse bei Kranbetrieb

### 4. 2 Nicht vorhandene Werte ermitteln bzw. berechnen

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

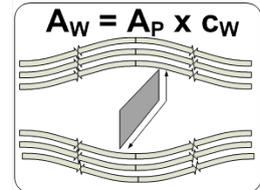
- die Windangriffsfläche, (vgl. Kap. 4.2.1)
- die zulässige Windgeschwindigkeit aus Traglasttabellenbuch, (vgl. Kap. 4.2.2)
- der Staudruck, (vgl. Kap. 4.2.3)
- die Windbelastung, (vgl. Kap. 4.2.4)

#### 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 ( $A_w$ ):

$$A_w = A_p \cdot c_w$$



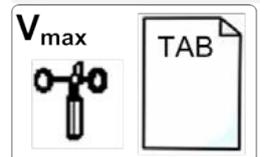
#### 4. 2. 2 Zulässige Windgeschwindigkeit aus Traglasttabellenbuch

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 m<sup>2</sup> 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.

zulässige Windgeschwindigkeit aus Traglasttabellenbuch

	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 +
		11,1	14,3	14,3	14,3	12,8	12,8	12,8	12,8	11,1	11,1



	T	--			
			t	m	360°

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



**Definition Staudruck**

**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.

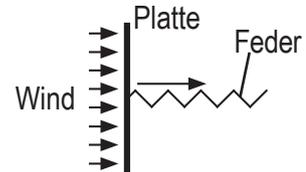
**Luftdichte:**  
 $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

**Formel Staudruck (p):**

$$p = F_w : A_w$$

oder

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



**Definition Kraft**

**4. 2. 4 Windbelastung (F<sub>w</sub>)**

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<sub>w</sub>):**

$$F_w = A_w \cdot p$$

**4. 3 Übungen**



Übung 7

Sie müssen mit Ihrem Kran eine Fensterscheibe an einer Glasfassade austauschen. Die Fensterscheibe hat eine Projektionsfläche von 2,6 m<sup>2</sup> und einen c<sub>w</sub>-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

Ermitteln Sie aus „Bild 16“ (Seite 25) welche zulässige Windgeschwindigkeit bei einer Telekonfiguration von 92-/46+/46+/46+/0 zulässig ist.

Antwort:



## 5. Bestimmung der zulässigen Windgeschwindigkeit

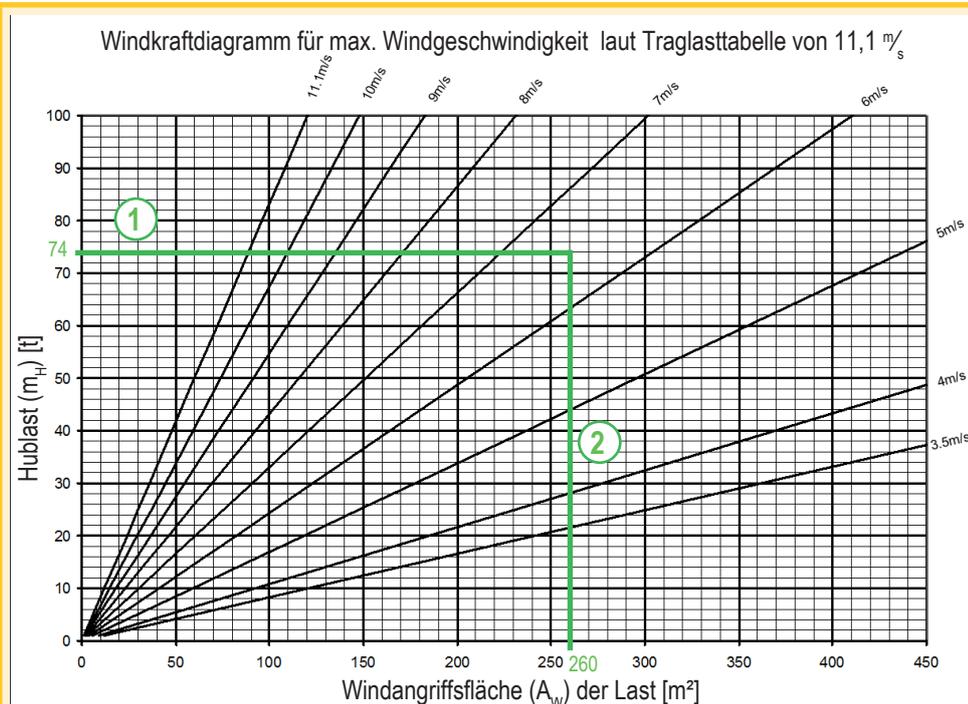
Mit folgenden Möglichkeiten kann die maximal zulässige Windgeschwindigkeit bestimmt werden:

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

### 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 m<sup>2</sup> 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 Windkraftdiagramm. 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.



Zur Bestimmung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit mit Hilfe eines Windkraftdiagrammes muss zuerst die Hublast  $m_H$  (Last + Anschlagmittel) waagrecht eingezeichnet werden (siehe Linie 1).

Im weiteren Schritt muss senkrecht die Windangriffsfläche  $A_W$  (Projektionsfläche x  $c_w$ -Wert) eingezeichnet werden (siehe Linie 2).

Im Schnittpunkt kann die maximal zulässige Windgeschwindigkeit abgelesen werden.





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

**Beispiel 1**

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

Die zu hebende Last wiegt **65 t**, hat einen  $c_w$ -Wert von **1,4** und bei einer Projektionsfläche von **200 m<sup>2</sup>** eine Windangriffsfläche von **280 m<sup>2</sup>**. Teilt man die Windangriffsfläche durch die Last erhält man einen Wert von 4,31 m<sup>2</sup> pro t. Dieser Wert übersteigt die maximale Windangriffsfläche der Last von 1,2 m<sup>2</sup> 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 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.

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

**Beispiel 2**

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

Eine Last wiegt **85 t**, hat einen  $c_w$ -Wert von **1,2** und eine Projektionsfläche von **50 m<sup>2</sup>**. Bei einem  $c_w$ -Wert von 1,2 und einer Projektionsfläche von 50 m<sup>2</sup> ergibt sich eine Windangriffsfläche von **60 m<sup>2</sup>**. Teilt man die Windangriffsfläche durch die Last, erhält man einen Wert von 0,71 m<sup>2</sup> 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.

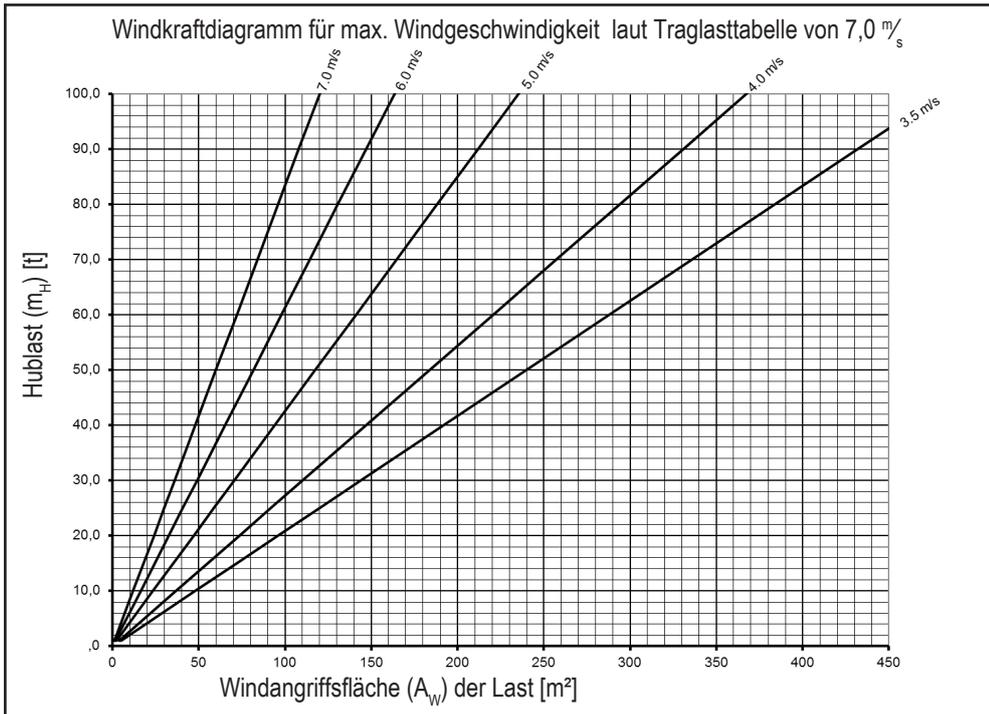
**Die Last kann bis zu einer maximalen Windgeschwindigkeit von 9 m/s, wie in der Traglasttabelle angegeben, gehoben werden kann.**

#### Übung 10

Zeichnen Sie zur Ermittlung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit die Werte aus dem Beispiel 5.1.1 in das entsprechende Windkraftdiagramm auf den folgenden Seiten ein.

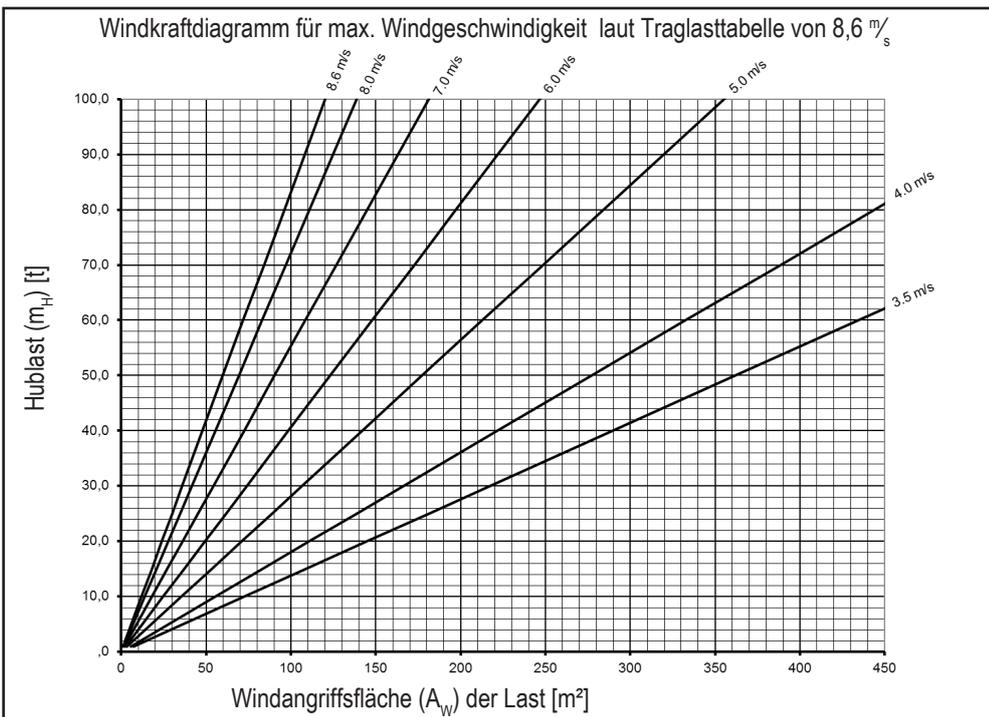
#### Übung 11

Zeichnen Sie zur Ermittlung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit die Werte aus dem Beispiel 5.1.2 in das entsprechende Windkraftdiagramm auf den folgenden Seiten ein.



Windkraftdiagramm  $7,0 \text{ m/s}$

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



Windkraftdiagramm  $8,6 \text{ m/s}$

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



Windkraft-  
diagramm  
9,0 m/s

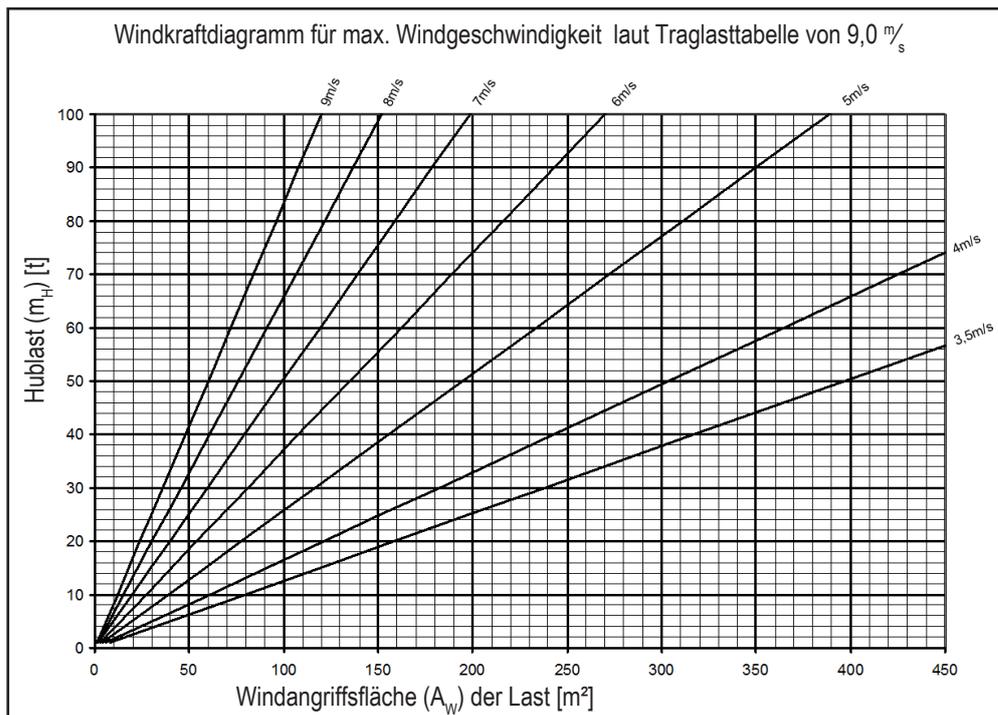


Bild 19: Windkraftdiagramm 9,0 m/s (nur gültig für Tabellen mit max. Windgeschwindigkeit von 9,0 m/s)

Windkraft-  
diagramm  
9,9 m/s

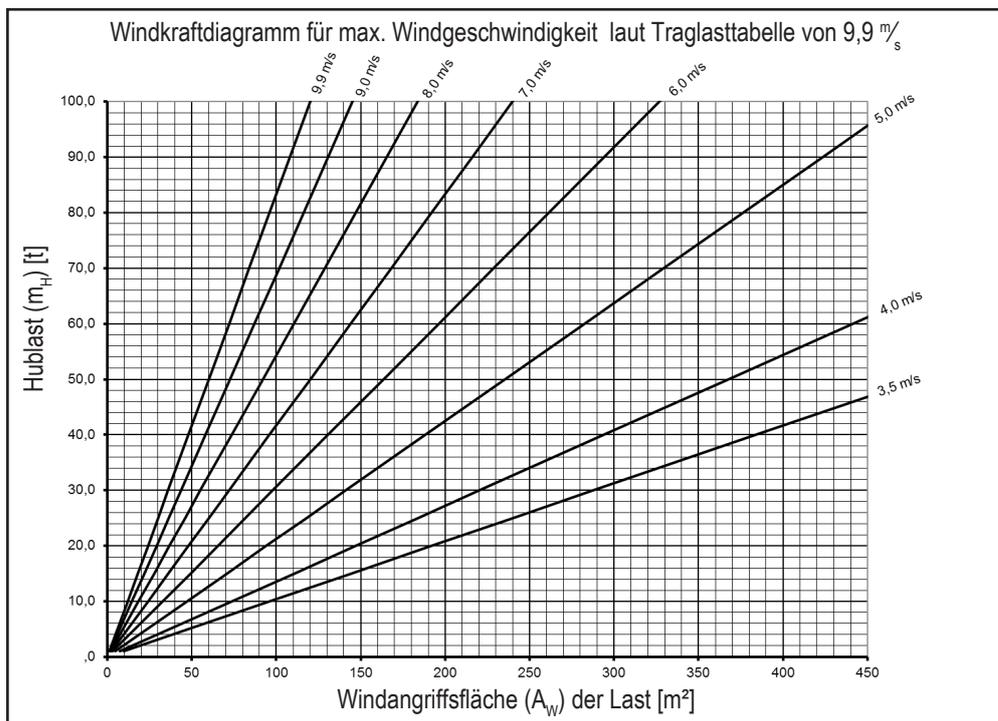
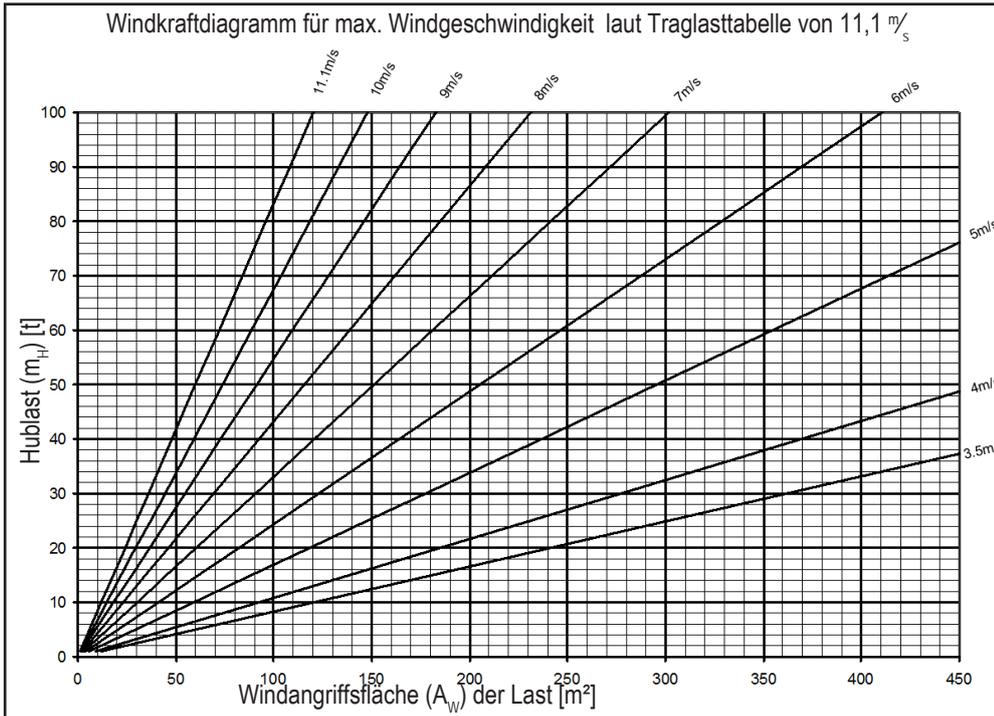
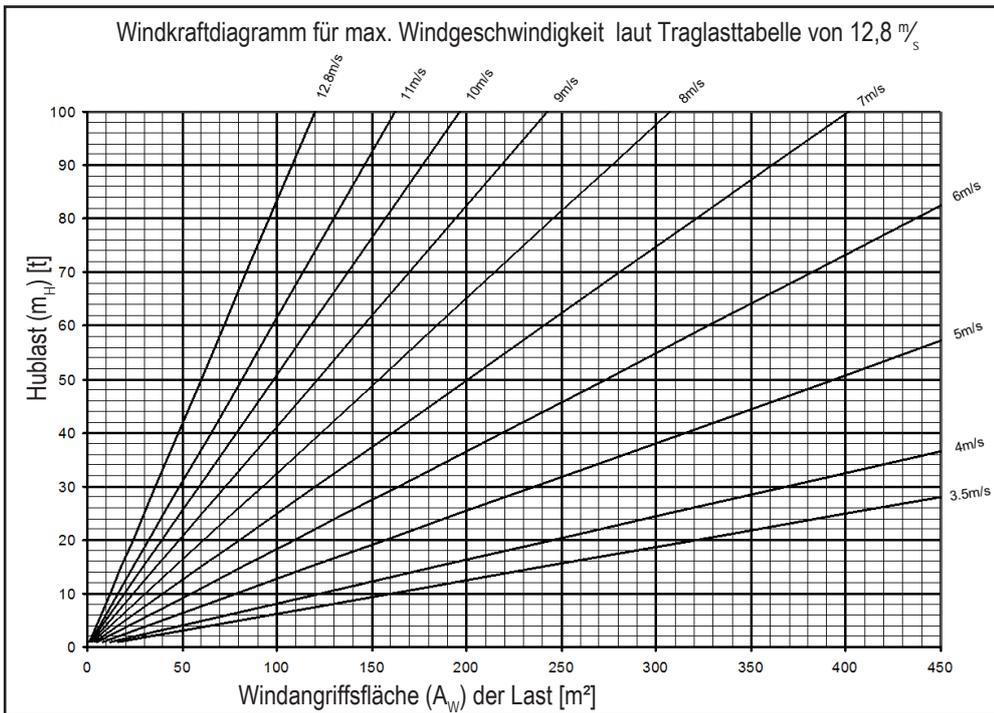


Bild 20: Windkraftdiagramm 9,9 m/s (nur gültig für Tabellen mit max. Windgeschwindigkeit von 9,9 m/s)



Windkraftdiagramm  $11,1 \frac{m}{s}$

Bild 21: Windkraftdiagramm  $11,1 \frac{m}{s}$  (nur gültig für Tabellen mit max. Windgeschwindigkeit von  $11,1 \frac{m}{s}$ )



Windkraftdiagramm  $12,8 \frac{m}{s}$

Bild 22: Windkraftdiagramm  $12,8 \frac{m}{s}$  (nur gültig für Tabellen mit max. Windgeschwindigkeit von  $12,8 \frac{m}{s}$ )



Windkraft-  
diagramm  
14,3 m/s

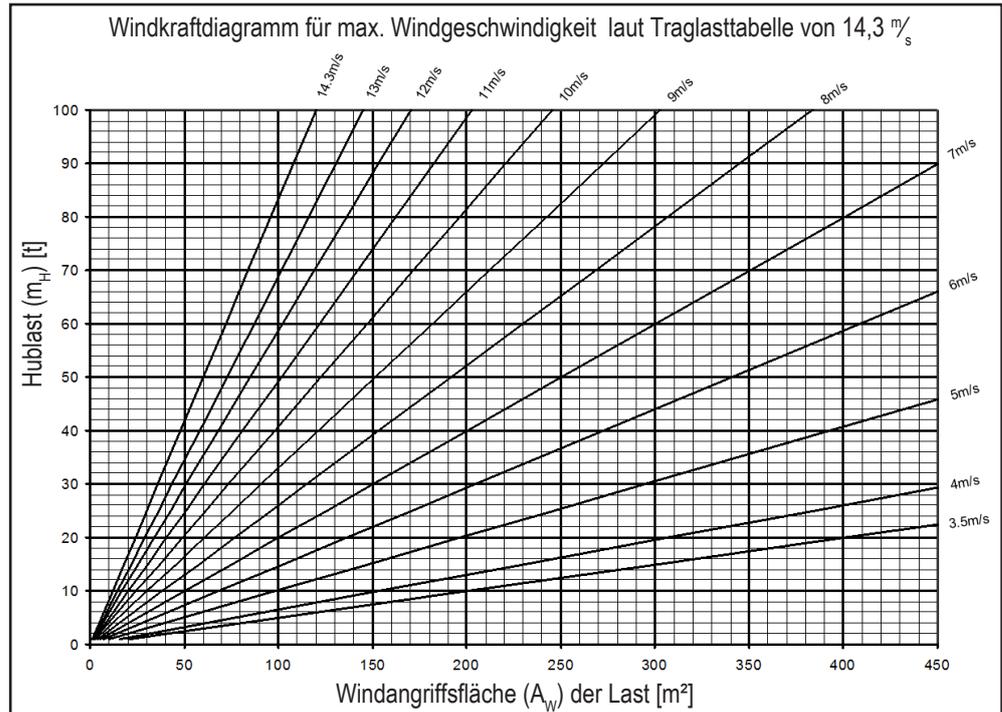


Bild 23: Windkraftdiagramm 14,3 m/s (nur gültig für Tabellen mit max. Windgeschwindigkeit von 14,3 m/s)



## Windeinflüsse bei Kranbetrieb

### 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  $1,2 \frac{m^2}{t}$  unter der Wurzel entspricht einer Konstanten laut EN 13000 und nicht dem  $c_W$ -Wert! Dieser Wert darf nicht verändert werden!

#### 5. 2. 1 Beispiel zur Berechnung 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 m<sup>2</sup>** eine Windangriffsfläche von **280 m<sup>2</sup>**. Für den benötigten Rüstzustand ist laut Traglasttabelle eine maximale Windgeschwindigkeit von  $11,1 \frac{m}{s}$  zulässig.

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

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

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

Die ermittelte, maximal zulässige Windgeschwindigkeit von  $5,86 \frac{m}{s}$  wird nicht in das LICCON-Computersystem übernommen. Bei Überschreitung der ermittelten, maximal zulässigen Windgeschwindigkeit von  $5,86 \frac{m}{s}$  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.

#### Beispiel 1

Windangriffsfläche:  
 $1,4 \cdot 200 m^2 =$   
**280 m<sup>2</sup>**



#### 5. 2. 2 Beispiel zur Berechnung 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 m<sup>2</sup>**. Bei einem  $c_W$ -Wert von 1,2 und einer Projektionsfläche von 50 m<sup>2</sup> ergibt sich eine Windangriffsfläche von 60 m<sup>2</sup>. Die Traglasttabelle hat in diesem Beispiel eine maximale Windgeschwindigkeit von  $9 \frac{m}{s}$ .

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

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

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

#### Beispiel 2

Windangriffsfläche:  
 $1,2 \cdot 50 m^2 =$   
**60 m<sup>2</sup>**





5. 3 Übungen

Übung 12

Sie müssen mit einem LTM 1150-6.1 (CODE 0050) eine Last mit 47 t und einer Windangriffsfläche von 235 m<sup>2</sup> 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	m > < t 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



## Windeinflüsse bei Kranbetrieb

### Übung 13

Sie müssen mit einem LTM 11200-9.1 (CODE 0016) eine Last mit 45 t und einer Windangriffsfläche von 112 m<sup>2</sup> 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).



m	CODE > 0016 < V178 0F00 .x(x)													
	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						
3,5	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	190,0						
4,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	183,0	213,0	213,0	92,0			
4,5	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	176,0	213,0	213,0	88,0			
5,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	170,0	213,0	213,0	84,0	213,0	161,0	110,0
6,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	158,0	213,0	213,0	78,0	213,0	150,0	101,0
7,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	209,0	213,0	148,0	213,0	213,0	72,0	207,0	140,0	94,0
8,0	213,0	213,0	213,0	213,0	213,0	189,0	213,0	139,0	213,0	198,0	67,0	194,0	131,0	87,0
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+	50+	0+	50+	0+	0+
3	0+	0+	50+	0+	50+	0+	50+	0+	50+	50+	0+	50+	50+	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+	50+	50+
6	0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+	50+	0+	0+	100+	0+	50+	50+
7	0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+	50+	0+	0+	100+	0+	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
TAB ***	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019

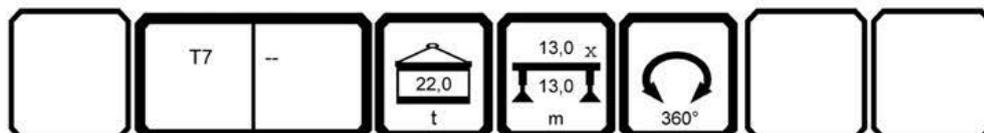


Bild 25: Auszug aus dem Traglasttabellenbuch vom LTM 11200-9.1



### 6. Windeinflüsse bei „Kran außer Betrieb“

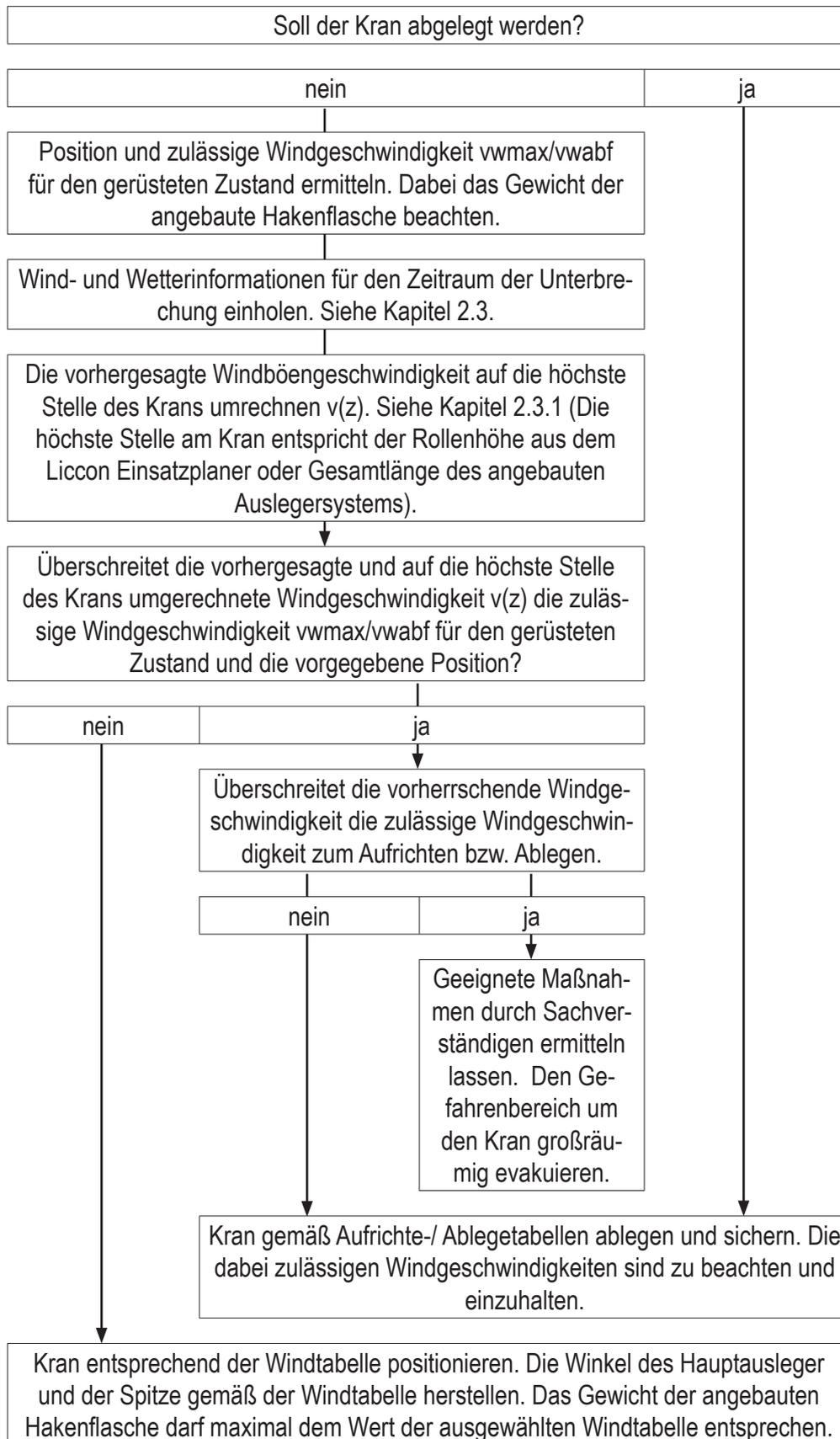
Neben der Gefährdung, die durch den Wind während des Kranbetriebs auftreten, ist die Gefahr eines Kranunfalls durch Windeinflüsse bei Kran außer Betrieb, bzw. ohne Last zu nennen. Mobil- und Raupenkrane besitzen trotz ihrer filigranen Bauweise, auch ohne Last, sehr große Windangriffsflächen. Selbst bei Gitterauslegern sind Windangriffsflächen von mehreren hundert Quadratmetern möglich. Sehr große Auslegerlängen und eine kompakte Abstützbasis sorgen dafür, dass ein hohes Gefahrenpotential bei Überschreitung der zulässigen Windgeschwindigkeit besteht.

Am besten Vorstellen kann man sich, dass der Kran als Ganzes umkippt. Es ist aber auch möglich, dass bei Wind von vorne wippbare Gitterspitzen und Hauptausleger nach hinten umkippen. Des Weiteren kann bei Wind von der Seite die Drehwerkbremse überlastet werden, was zu einem unbeabsichtigten Drehen des Kran führt.

Wie in der Betriebsanleitung der Liebherr-Werk Ehingen GmbH beschrieben soll der Kranausleger immer abgelegt werden, wenn der Kran bei einer Unterbrechung der Kranarbeit unbeaufsichtigt ist. Ist dies auf Grund von begrenzten Platzverhältnissen auf der Baustelle nicht möglich, muss der Kran in die vom Hersteller vorgeschriebene Position gebracht werden. Diese Position ist allerdings nur bis zu der angegebenen Windgeschwindigkeit sicher. Um die Position und die zugehörige maximale Windgeschwindigkeit zu ermitteln, sind alle Liebherr Gittermastkrane und alle Liebherr Teleskopkrane, welche mit einer wippbaren Gitterspitze ausgerüstet werden können, mit Windtabellen ausgestattet. Aus diesen Windtabellen können diese Informationen bezogen werden. Sind für einen Rüstzustand keine Windgeschwindigkeitstabellen vorhanden, ist der Wert für die maximal zulässige Windgeschwindigkeit aus der Traglasttabelle zu verwenden.



## 6. 1 Vorgehensweise bei einer Unterbrechung der Kranarbeit





## 6. 2 Anwenden der Windtabellen

### 6. 2. 1 Beispiel Teleskopkrane:

LTM 1750-9.1 – TYVEN

Abstützbasis: 12 m x 12 m  
Gegengewicht: 184 t  
Teleskopausleger: T-49.1 (92/92/92)  
Wippbare Gitterspitze: N-59.5  
Hakenflaschengewicht: 1.5 t

**Betriebsart, Gegengewicht und Abstützbasis in der Tabellenbeschreibung beachten!**

**Das Hakenflaschengewicht in der Tabelle darf nicht überschritten werden.**



### **TYVEN - 64.0 t bis 204.0 t Gegengewicht - Abstützbasis: 12.0 m \* 12.0 m**

---

#### **Hinweis**

- ▶ TYVEN - Abgespannter Teleskopausleger mit TY-Abspannung, Gitterverlängerung und wippbarer Gitterspitze
  - ▶ 5m Gitterverlängerung
  - ▶ Y-Bockstellung 45°
  - ▶ 64.0 t bis 204.0 t Gegengewicht
  - ▶ Abspannpunkt der Teleskopauslegerabspannung am Exzenter
  - ▶ der Winkel der Y-Böcke ist entsprechend der Traglasttabelle einzustellen
  - ▶ die angegebenen Windgeschwindigkeiten gelten für den abgespannten Zustand, sofern der Ausleger abgespannt werden darf
  - ▶ Ausfahrzustände, für die keine Traglasten im abgespannten Zustand vorhanden sind, dürfen nicht abgespannt werden
  - ▶ beim kürzesten Teleskopausleger T-16.3 und NA-Bock 3 Stangen beträgt der maximale Winkel der wippbaren Gitterspitze 58°
  - ▶ wippbare Gitterspitzen ab einer Länge von 80.5 m lassen sich nicht teleskopieren und müssen abgelegt werden
  - ▶ Abstützbasis 12.0 m \* 12.0 m
-



- Maximal zulässige Windböengeschwindigkeit zum Rüsten des Krans
- Maximal zulässige Böengeschwindigkeit an der höchsten Stelle zum Drehen des Krans
- Maximal zulässige Böengeschwindigkeit an der höchsten Stelle des Krans
- Gegengewicht
- Maximal zulässiges Hakenflaschengewicht
- Radius des Rollenkopfs
- Winkel Gitterspitze
- Winkel Hauptausleger
- Gitterspitze
- Adapter
- Teleskopausleger

**Zulässige Windgeschwindigkeiten** **WAB-TAB198-007-001-00**

H A [m]	A [m]	H I [m]	W H A [°]	W H I [°]	R A D [m]	H A K F L [t]	O W B [t]	V W M A X [m/s]	V W A B F [m/s]	V W R S T [m/s]
T-16.3 (0/0/0)	A-9.0	N-59.5	84	51	41.8	2.0	var.	16.8	13.3	8.9
T-16.3 (0/0/0)	A-9.0	N-59.5	84	51	41.8	2.0	var.	16.8	13.3	8.9
T-21.8 (0/46/0)	A-9.0	N-59.5	84	52	41.6	2.0	var.	16.6	13.1	8.9
T-21.8 (0/0/46)	A-9.0	N-59.5	84	52	41.6	2.0	var.	16.6	13.1	8.9
T-27.2 (46/46/0)	A-9.0	N-59.5	84	50	43.7	2.0	var.	16.1	12.9	8.9
T-32.7 (92/46/0)	A-9.0	N-59.5	84	51	43.5	2.0	var.	15.8	12.6	8.9
T-38.2 (92/92/0)	A-9.0	N-59.5	84	49	45.6	2.0	var.	15.2	12.4	8.9
T-43.7 (92/92/46)	A-9.0	N-59.5	84	50	45.4	2.0	var.	14.9	12.2	8.9
T-49.1 (92/92/92)	A-9.0	N-59.5	84	48	47.6	2.0	var.	14.3	11.9	8.9

Durch das Einteleskopieren des Teleskopauslegers von T-49.1 (92/92/92) auf T-16.3 (0/0/0) nimmt die zulässige Windgeschwindigkeit von 14,3 m/s auf 16,8 m/s zu.



Welche Böengeschwindigkeit ist in 10 m Höhe zulässig für T-49.1 (92/92/92)?

Ermittlung der Rollenhöhe über den Einsatzplaner:

END R2 TL

T198.007.01103 EN 13000 [m] [t]

TYVEN: TY-45°VE N-59.5m

184 t

12.00 x 12.00m

360°

OK

END >?<

LTM 1750-9.1 096035/0005 CODE >007.01103<

Höhe [m]

Ausladung [m]

13-10	6.0	34.3
m	84.0°	42.8
t	m	2°
%		49.1
	54.0°	
m		108.9
	0.0°	
		45.0°



Rollenhöhe: 108,9 m

Ermittlung der Höhe über die Gesamtsystemlänge:  $49.1 + 9 + 59.5 = 117,6$  m

Die vorhergesagte Windböengeschwindigkeit beträgt 11 m/s in einer Höhe von 10 m. Durch Umrechnung über die Tabelle in 2.3.1 wird eine Böengeschwindigkeit von 14,2 m/s in 120 m Höhe ermittelt, d.h. der Kran kann so abgestellt werden.

Durch Einteleskopieren des Auslegers steigt die zulässige Windböengeschwindigkeit auf 16,8 m/s an, was eine deutliche Zunahme der Sicherheit bedeutet und längeren Unterbrechungen immer durchgeführt werden muss.

### 6. 2. 2 Beispiel Gitterkrane:

LR 11000 - SDWB

Hauptausleger: S-54 m

Wippbare Gitterspitze: W-114 m

Derrickausleger: D-36 m

OW-Ballast: 210 t

Zentralballast: 50 t

Hakenflaschengewicht: 14 t

Falls keine Tabellen mit Derrickballast vorhanden sind, aber eine Betriebsart mit Derrick aufgerüstet ist, sind Tabellen ohne Derrickballast zu verwenden. Der Derrickballast muss auf dem Boden abgestellt werden.

Beispiel:

Gerüstet zu verwendende Tabelle

SDB - SD

SDWB - SDW

SDWB2 - SDW - die Ballastführung muss abgebaut werden



## SDWB - System

**Hinweis**

- ▶ Hakenflaschengewicht 18t
- ▶ Derrickballast 0t
- ▶ Drehbuehnenballast 210t
- ▶ Zentralballast 50t
- ▶ Derrickradius 12m
- ▶ Anzahl Drehwerke: 3

Maximal zulässige Windböengeschwindigkeit zum Rüsten des Krans  
 Maximal zulässige Böengeschwindigkeit an der höchsten Stelle zum Drehen des Krans  
 Maximal zulässige Böengeschwindigkeit an der höchsten Stelle des Krans  
 Derrickradius  
 Zentralballast  
 Gegengewicht  
 Maximal zulässiges Hakenflaschengewicht  
 Radius des Rollenkopfs  
 Winkel Gitterspitze  
 Winkel Hauptausleger  
 Gitterspitze  
 Derrick  
 Hauptausleger

wab\_235\_008\_00001\_00\_000

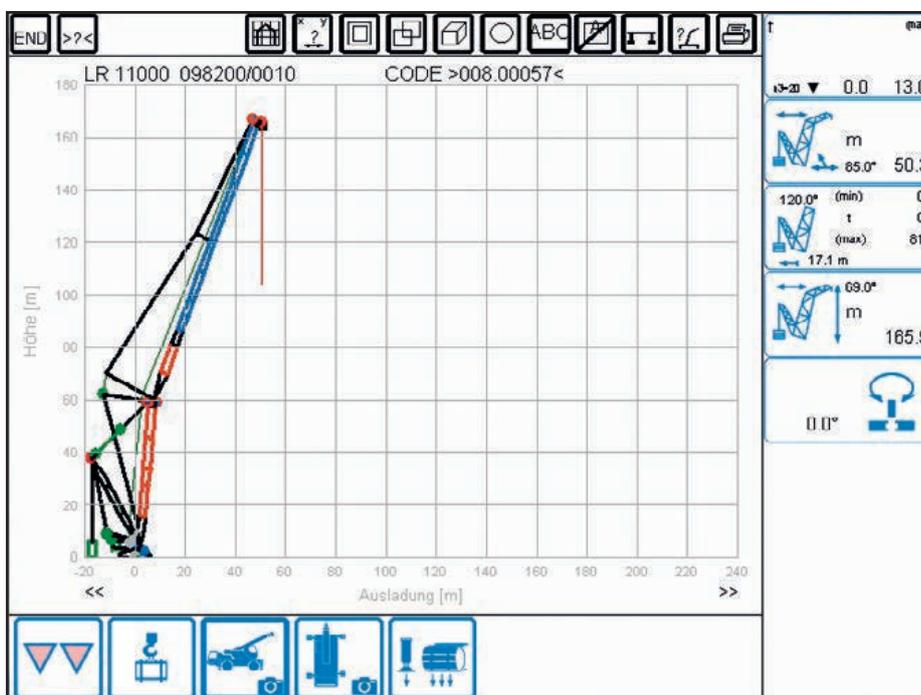
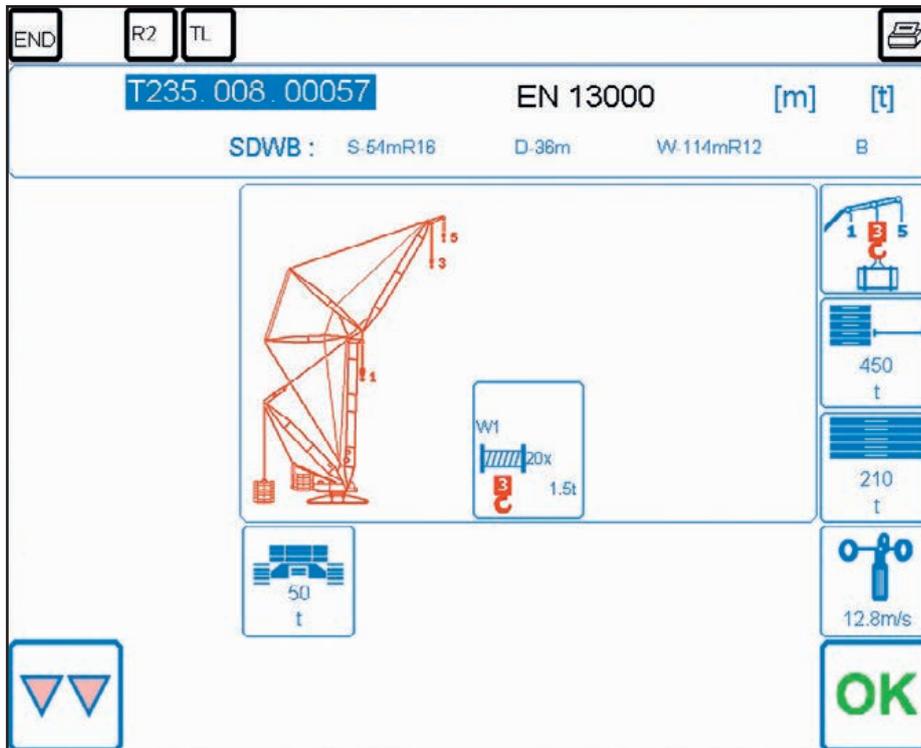
H	D	H	W	W	R	H	O	Z	D	V	V	V
A		I	A	H	A	K	W	B	R	W	W	W
				I	D	F	B	L	A	A	A	R
						L			D	B	B	S
										F	F	T
[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[m]	[t]	[t]	[t]	[m]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
S-48	D-36	W-108	85	67	51.1	18.0	210	50	12	17.6	14.3	8.9
S-48	D-36	W-114	85	68	51.6	18.0	210	50	12	17.1	13.5	8.9
S-54	D-36	W-18	75	0	35.2	18.0	210	50	12	23.4	23.4	8.9
S-54	D-36	W-24	75	0	41.2	18.0	210	50	12	24.9	24.9	8.9
S-54	D-36	W-30	75	30	44.1	18.0	210	50	12	24.0	24.0	8.9
S-54	D-36	W-36	75	45	43.9	18.0	210	50	12	23.6	23.6	8.9
S-54	D-36	W-42	75	55	42.8	18.0	210	50	12	23.2	23.1	8.9
S-54	D-36	W-48	75	60	42.8	18.0	210	50	12	22.6	21.8	8.9
S-54	D-36	W-54	75	65	41.7	18.0	210	50	12	22.1	20.4	8.9
S-54	D-36	W-60	80	52	50.9	18.0	210	50	12	21.2	21.0	8.9
S-54	D-36	W-66	80	58	49.0	18.0	210	50	12	20.7	19.7	8.9
S-54	D-36	W-72	80	62	47.9	18.0	210	50	12	20.2	18.5	8.9
S-54	D-36	W-78	80	66	45.9	18.0	210	50	12	19.7	17.3	8.9
S-54	D-36	W-84	80	68	45.7	18.0	210	50	12	19.2	16.4	8.9
S-54	D-36	W-90	85	61	53.0	18.0	210	50	12	18.5	16.8	8.9
S-54	D-36	W-96	85	63	52.9	18.0	210	50	12	18.0	15.8	8.9
S-54	D-36	W-102	85	66	50.9	18.0	210	50	12	17.5	15.0	8.9
S-54	D-36	W-108	85	68	49.9	18.0	210	50	12	17.2	14.2	8.9
S-54	D-36	W-114	85	69	50.3	18.0	210	50	12	16.7	13.4	8.9



## Windeinflüsse bei Kranbetrieb

Welche Böengeschwindigkeit ist in 10m Höhe zulässig?

Ermittlung der Rollenhöhe über den Einsatzplaner



Rollenhöhe: 165,9 m

Ermittlung der Höhe über die Gesamtsystemlänge: 54 m + 114 m = 168 m

Die vorhergesagte Windböengeschwindigkeit beträgt 11 m/s in einer Höhe von 10 m. Durch Umrechnung über die Tabelle in 2.3.1 wird eine Windböengeschwindigkeit von 14,9 m/s in 170 m Höhe ermittelt, d.h. der Kran kann so abgestellt werden. Zulässig sind 16,7 m/s.



### 7. 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 Nabenhöhe 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.



## 8. Anhang

### 8. 1 Liebherr-Krane in der Windenergie

#### 8. 1. 1 Aktuelle Mobilkrane (2016)



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 450 kW
Kranmotor Leistung	Liebherr 4 Zylinder Turbo-Diesel 180 kW
Antrieb, Lenkung	12 x 8 x 12
Fahrgeschwindigkeit	80 km/h
Gewicht	72 t (6 x 12 t Achslast)
Windkraftanlagen - Größe	< 1 MW*

LTM 1350-6.1



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 450 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 1400-7.1



Technische Daten LTM 1450-8.1	
Maximale Traglast	450 t bei 3 m
Teleskopausleger	85 m
Max. Hubhöhe	131 m
Fahrmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 505 kW
Kranmotor Leistung	Ein-Motor-Konzept
Antrieb, Lenkung	16 x 8 x 16
Fahrgeschwindigkeit	85 km/h
Gewicht	96 t (8 x 12 t Achslast)
Windkraftanlagen - Größe	< 1,5 MW*

LTM 1450-8.1

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



## LTM 1500-8.1



Technische Daten LTM 1500-8.1	
Maximale Traglast	500 t bei 3 m
Teleskopausleger	50/84 m
Max. Hubhöhe	142 m
Fahrmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 500 kW
Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 240 kW
Antrieb, Lenkung	16 x 8 x 12
Fahrgeschwindigkeit	80 km/h
Gewicht	96 t (8 x 12 t Achslast)
Windkraftanlagen - Größe	< 2 MW*

## LTM 1750-9.1



Technische Daten LTM 1750-9.1	
Maximale Traglast	750 t bei 3 m
Teleskopausleger	52 m
Max. Hubhöhe	154 m
Fahrmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 505 kW
Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 300 kW
Antrieb, Lenkung	18 x 8 x 18
Fahrgeschwindigkeit	80 km/h
Gewicht	108 t (9 x 12 t Achslast)
Windkraftanlagen - Größe	2 MW*

## LTM 11200-9.1



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*

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



## Windeinflüsse bei Kranbetrieb

### 8. 1. 2 Aktuelle Teleskop-Raupenkrane (2016)

Technische Daten LTR 11200	
Maximale Traglast	1200 t bei 3 m
Bodenpressung	~ 14 t/m <sup>2</sup>
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

### 8. 1. 3 Aktuelle Raupenkrane (2016)

Technische Daten LR 1350/1	
Maximale Traglast	350 t bei 6 m
Max. Ausladung	110 m
Max. Hubhöhe	152 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 270 kW
Spurbreite	8,4 m
Drehbühnenballast	max. 125 t
Zentralballast	max. 38 t
Derrickballast	max. 210 t x R 15 m
Windkraftanlagen - Größe	< 1,5 MW*



LR 1350/1

Technische Daten LR 1400/2	
Maximale Traglast	400 t bei 4,5 m
Max. Ausladung	120 m
Max. Hubhöhe	164 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 270 kW
Spurbreite	8,7 m
Drehbühnenballast	max. 155 t
Zentralballast	max. 43 t
Derrickballast	max. 260 t x R 15 m
Windkraftanlagen - Größe	< 2 MW*



LR 1400/2

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



**LR 1500**



Technische Daten LR 1500	
Maximale Traglast	500 t bei 11 m
Max. Ausladung	144 m
Max. Hubhöhe	165 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 350 kW
Spurbreite	9,1 m
Drehbühnenballast	max. 170 t
Zentralballast	max. 40 t
Derrickballast	max. 280 t x R 16 m
Windkraftanlagen - Größe	2 MW*

**LR 1600/2**



Technische Daten LR 1600/2	
Maximale Traglast	600 t bei 11 m
Max. Ausladung	152 m
Max. Hubhöhe	187 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 400 kW
Spurbreite	9,9 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-W**



Technische Daten LR 1600/2-W	
Maximale Traglast	600 t bei 11 m
Max. Ausladung	144 m
Max. Hubhöhe	166 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 400 kW
Spurbreite	5,8 m
Drehbühnenballast	max. 190 t
Derrickballast	max. 350 t x R 18 m
Windkraftanlagen - Größe	2 - 3 MW*

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



Technische Daten LR 1750/2	
Maximale Traglast	750 t bei 7 m
Max. Ausladung	156 m
Max. Hubhöhe	191 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 455 kW
Spurbreite	10,3 m
Drehbühnenballast	max. 245 t
Zentralballast	max. 95 t
Derrickballast	max. 400 t x R 20 m
Windkraftanlagen - Größe	3 MW*



LR 1750/2

Technische Daten LR 11000	
Maximale Traglast	1000 t bei 11 m
Max. Ausladung	180 m
Max. Hubhöhe	224 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 500 kW
Spurbreite	11,2 m
Drehbühnenballast	max. 250 t
Zentralballast	max. 90 t
Derrickballast	max. 450 t x R 20 m
Windkraftanlagen - Größe	3 - 5 MW*



LR 11000

Technische Daten LR 11350	
Maximale Traglast	1350 t bei 12 m
Max. Ausladung	128 m
Max. Hubhöhe	196 m
Fahrmotor/ Kranmotor Leistung	Liebherr 6 Zylinder Turbo-Diesel 641 kW
Spurbreite	11 m
Drehbühnenballast	max. 340 t
Zentralballast	max. 30 t
Derrickballast	max. 600 t x R 25 m
Windkraftanlagen - Größe	5 - 6 MW*



LR 11350

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



LG 1750

8. 1. 4 Aktuelle Gittermastkrane (2016)



Technische Daten LG 1750	
Maximale Traglast	750 t bei 7 m
Max. Ausladung	136 m
Max. Hubhöhe	193 m
Fahrmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 505 kW
Kranmotor Leistung	Liebherr 8 Zylinder Turbo-Diesel 455 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!



### 8. 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:

- 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 5:

- 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 6:

Ermittelte Winböengeschwindigkeit laut Bild 11: **4 m/s**

Faktor für 140 m Höhe bei vorhandener Windböengeschwindigkeit: **1,319**

$$4 \text{ m/s} \times 1,319 = \underline{\underline{5,276 \text{ m/s}}}$$



**Lösung zu Übung 7:**

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

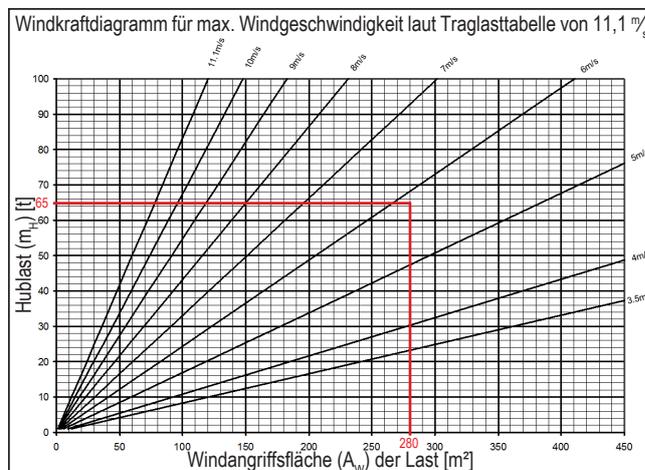
**Lösung zu Übung 8:**

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.

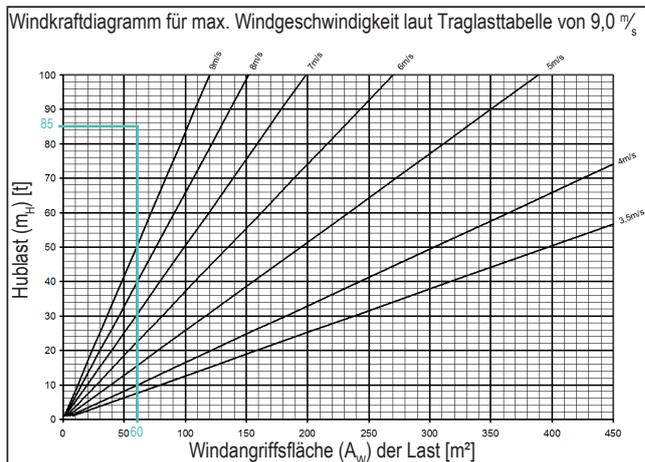
**Lösung zu Übung 9:**

11,1 m/s

**Lösung zu Übung 10:**



**Lösung zu Übung 11:**



**Lösung zu Übung 12:**

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

**Lösung zu Übung 13:**

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







Source: @Westermeerwind

# Partner der Windindustrie

Liebherr ist ein starker Partner für die Windindustrie. Liebherr-Erdbewegungsgeräte, Offshore-Krane und Mobil- und Raupenkrane werden für den Bau von Windparks und die Errichtung von Windkraftanlagen eingesetzt. Einzelne

Liebherr-Komponenten, wie Antriebe und Motoren kommen direkt in den Anlagen zum Einsatz und Liebherr-Werkzeugmaschinen spielen bei der Fertigung von Produkten für die Windindustrie eine immer wichtigere Rolle.



## Erdbewegungsgeräte und Mischtechnik

Beim Bau von Windparks haben sich Erdbewegungsgeräte von Liebherr bewährt. Für die Fundamentierung von Windkraftanlagen kommen mobile Betonmischanlagen und Fahrmischer von Liebherr zum Einsatz, beim Bau von Stahlbeton-Türmen spezielle stationäre Anlagen.

## Offshore-Krane

Auch für die Errichtung von Windkraftanlagen auf See bietet Liebherr überzeugende Lösungen. Sämtliche Anforderungen können dabei erfüllt werden: dieselbetriebene oder elektrische Antriebseinheiten, explosionsgeschützte Krane oder Schutzzonen-Krane sowie Krane für den Einsatz bei Umgebungstemperaturen zwischen +40 °C und -50 °C.

## Komponenten

Liebherr ist der einzige Hersteller weltweit, der nicht nur einzelne Komponenten, sondern mit Großwälzlagern, Drehantrieben, Elektromotoren und Hydraulikzylindern das gesamte System für die elektromechanische und hydraulische Rotorblatt- und auch die Azimutverstellung in Windkraftanlagen liefern kann.

## Werkzeugmaschinen und Automatisierungstechnik

Verzahnmaschinen von Liebherr tragen maßgeblich dazu bei, dass verzahnte Bauteile in Windkraftanlagen, z. B. in Hauptgetrieben, hohen Qualitätsanforderungen entsprechen. Automatisierungstechnik von Liebherr sorgt für hohe Produktivität bei der Rotorblattherstellung.

[www.liebherr.com](http://www.liebherr.com)