
Wenn der Wind weht

Windeinflüsse bei Kranbetrieb

LIEBHERR

Mobil- und Raupenkrane



Wenn der Wind weht

Wo Menschen arbeiten, werden Fehler gemacht. Gerade bei Kranarbeiten können die Windverhältnisse ein nicht zu unterschätzendes Gefahrenpotenzial darstellen. Der Kranfahrer 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 Kranfahrer die Maßnahmen durchzuführen, die vom Unternehmen 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, Projektplanenden sowie Kranunternehmen und soll exemplarisch Handlungsoptionen bei Kranbetrieb unter Windeinfluss aufzeigen. Zu Beginn führen wir 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 welche Informationen hierfür benötigt werden.

Die vorliegende Unterlage ist so konzipiert, dass sich der Lernende die relevanten Sachverhalte je nach Wissensstand auch im Selbststudium aneignen kann. Beispiele und Aufgabenstellungen dienen der Veranschaulichung und geben Gelegenheit zum Üben. Darüber hinaus liefert die Unterlage 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 Mobil- und Raupenkranen mahnen und unsere über 50-jährige Erfahrung als führender Kranhersteller einbringen.

Liebherr-Werk Ehingen GmbH

Wichtig

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.



So arbeiten Sie mit diesem Dokument



Kennzeichnet eine gefährliche Situation zum aktuellen Thema



Wichtiger Hinweis/Information zum aktuellen Thema

Lesen Sie zunächst den Text eines Kapitels aufmerksam durch. Wiederholen Sie den Inhalt. 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. Überprüfen Sie am Ende des Dokuments, ob Sie die hier angeführten Lernziele erreicht haben.

Nachdem Sie das 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 Böengeschwindigkeit berechnen können

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) an der höchsten Stelle des Krans
v_{max_TAB}	Maximal zulässige 3-Sekunden-Böengeschwindigkeit (m/s) an der höchsten Stelle des Krans, 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 Windgeschwindigkeit 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.

Inhalt

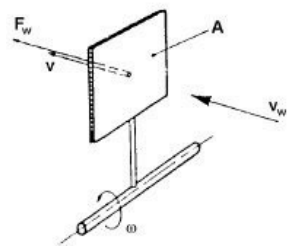
1. Einführung und Problemstellung	6
Windeinfluss auf die Last	6
Widerstandsprinzip	6
Auftriebsprinzip	6
1.1 Windeinfluss auf den Kran und die Last	6
Mögliche Belastungen am Kran	7
Überblick über Gefahren durch Wind	8
Unvorhersehbare Faktoren	8
Was bedeutet dies nun für das Arbeiten mit dem Kran bei Wind?	8
1.2 Übungen	9
2. Grundwissen - Wind	10
Wie entsteht Wind?	10
Windstärkendiagramm	10
2.1 Windböen und Rauigkeit	11
Was ist eine Windböe?	11
Verlauf der Windgeschwindigkeit in einer Höhe z [m] über die Zeit	11
Verhalten des Windes in großen Höhen	12
Windgeschwindigkeit bei verschiedenen Rauigkeitsklassen	12
Rauigkeitsklassen im Überblick	12
2.2 Wind- und Wetterinformationen	13
2.2.1 Höhenabhängige Windböengeschwindigkeit	14
2.3 Übungen	15
3. Exkurs - Schema einer Windkraftanlage	16
Bauteile einer Windkraftanlage	16
Aufbau von Luftschichten	17
Wo kommen welche Turbulenzen vor	17
4. Faktoren der Windkraftberechnung	18
4.1 Vorhandene Werte abfragen	18
4.1.1 Gewicht der Hublast (m_H)	18
4.1.2 Maximale Projektionsfläche (A_p)	18
4.1.3 Definition Widerstandsbeiwert (c_w -Wert)	19
4.1.4 Aktuelle Windgeschwindigkeit (v_{act})	19
Windgeber (Anemometer)	20
4.2 Nicht vorhandene Werte ermitteln bzw. berechnen	20
4.2.1 Windangriffsfläche (A_w)	21
4.2.2 Zulässige Windgeschwindigkeit aus Traglasttabellenbuch	21
4.2.3 Staudruck (p)	22
Definition Staudruck	22
4.2.4 Windbelastung (F_w)	22
Definition Kraft	22
4.3 Übungen	22
5. Bestimmung der zulässigen Windgeschwindigkeit	23
5.1 Methode 1: Windkraftdiagramm	23
5.1.1 Beispiel zur Ermittlung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen speziellen Lastfall	24
5.1.2 Beispiel zur Ermittlung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen Standard-Lastfall	24
Übungen	24
5.2 Methode 2: Formel	28
5.2.1 Beispiel zur Berechnung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen speziellen Lastfall	29
5.2.2 Beispiel zur Berechnung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit für einen Standard-Lastfall	29
5.3 Übungen	30
6. Windeinflüsse bei „Kran außer Betrieb“	32
6.1 Vorgehensweise bei einer Unterbrechung der Kranarbeit	32
6.2 Anwenden der Windtabellen	33
6.2.1 Beispiel Teleskopkrane	33
6.2.2 Beispiel Gitterkrane	35
7. Schlussbemerkung	37
8. Lösungen zu den Übungen	37

1. Einführung und Problemstellung

Windeinfluss auf die Last

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 (1,2 m²/t mit c_w 1,2 in der Windangriffsfläche), welche die Grundlage für die Berechnung des Kranes sind, deutlich überschritten werden können.

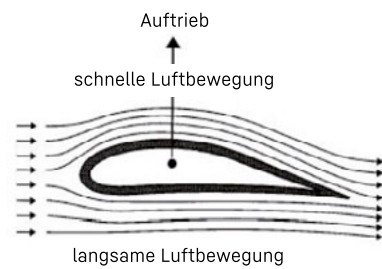
Solche Standardwerte sind beispielsweise der sogenannte **Windwiderstandsbeiwert** (c_w) oder der Wert zur Berechnung der sogenannten **Projektionsfläche** einer Last. Beide Werte zusammen geben schließlich Auskunft über die tatsächliche **Windangriffsfläche** einer Last. Gerade bei großflächigen Lasten (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.



Widerstandsprinzip

Welche Rolle spielt der Wind bei der Überschreitung dieser Standardwerte?

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



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**.

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!

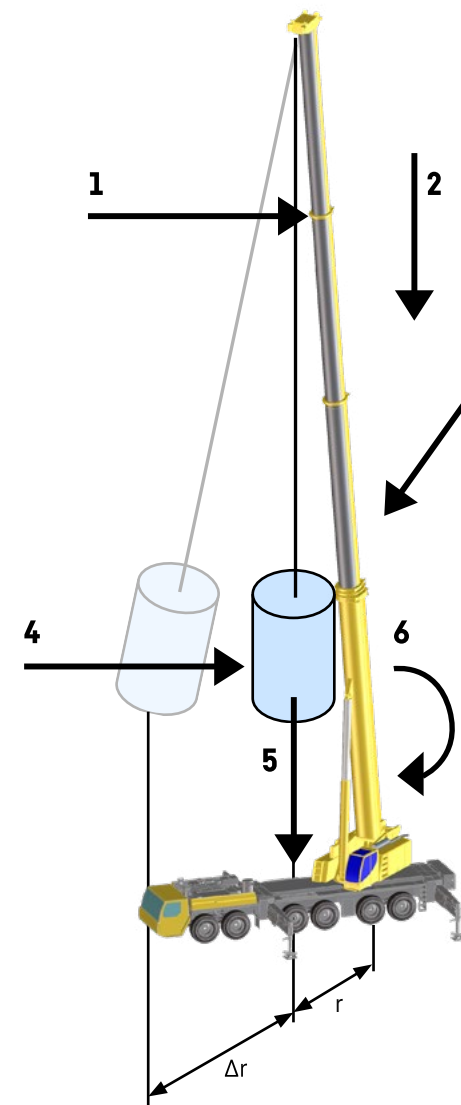
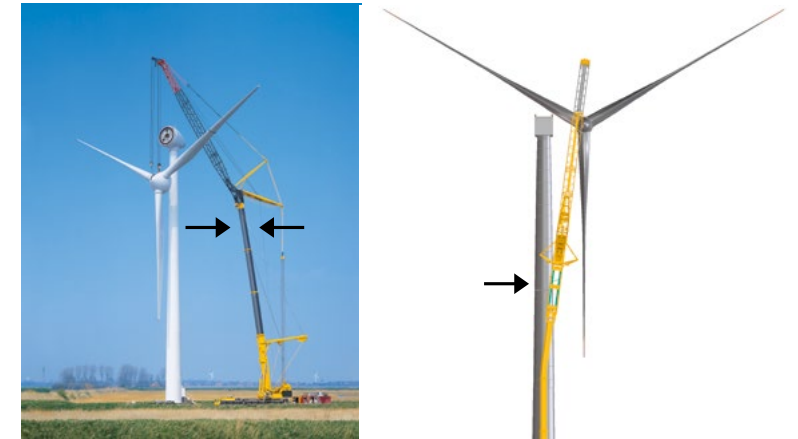
Der Kranfahrer muss deshalb das Gewicht der Last kennen und darf die max. Traglast nicht überschreiten!



1.1 Windeinfluss auf den Kran und die Last

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

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.



Mögliche Belastungen am Kran

- 1 Seitliche Belastung infolge von Wind auf den Kranausleger
- 2 Belastung durch Eigenlast
- 3 Radiusvergrößernde Belastung infolge von Wind auf die Last und den Ausleger von hinten
- 4 Seitliche Belastung infolge von Wind auf die Last
- 5 Belastung in Hubrichtung infolge von Hublast, Anschlagmittel und Trägheitskräften
- 6 Dynamische Seitenbelastung durch Drehen des Oberwagens

r = Radius
Δr = vergrößerter Radius durch Windeinfluss

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



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.

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?

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 an der höchsten Stelle des Krans 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?

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

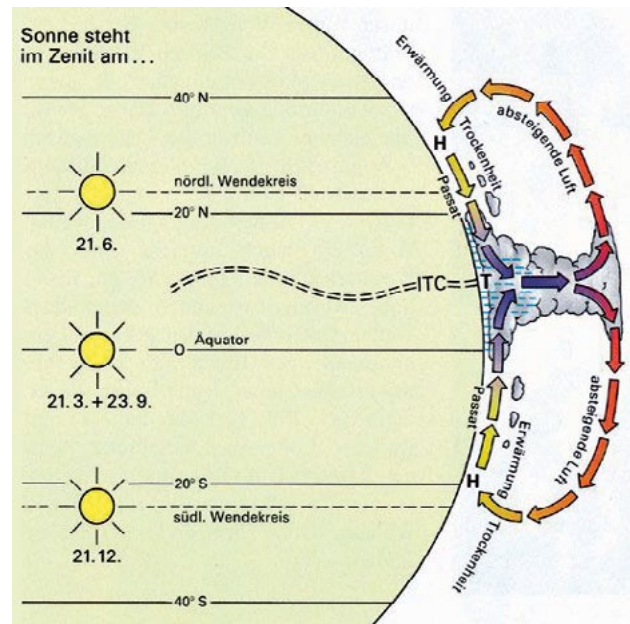
In diesem Kapitel erlernen Sie die Grundkenntnisse über die Entstehung von Wind und erhalten erste Erläuterungen windspezifischer Fachbegriffe.

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

Wie entsteht Wind?

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.

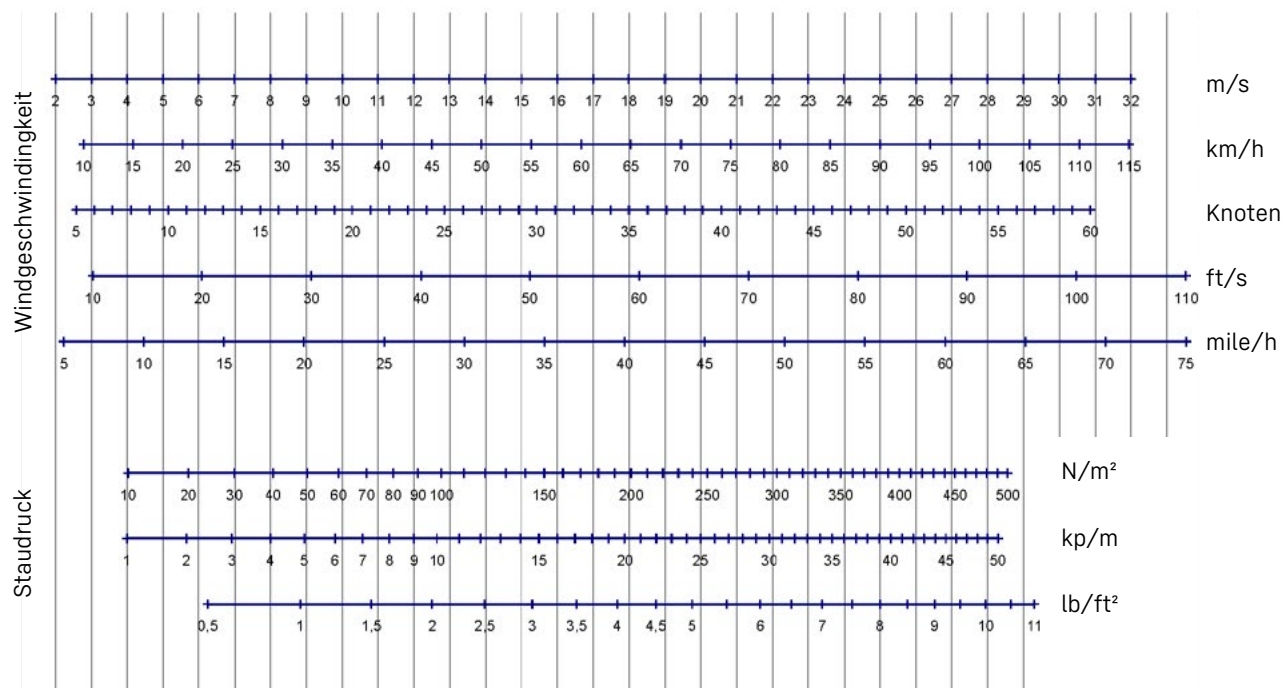


Die höchste Windgeschwindigkeit, die in Deutschland bislang gemessen wurde, lag bei 335 km/h. Sie wurde am 12. Juni 1985 auf der Zugspitze registriert. Sie entsprach rechnerisch dem Beaufortwert 23,1.

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.

Windstärkendiagramm

Gegenüberstellung Windgeschwindigkeit und Staudruck



2.1 Windböen und Rauigkeit

Was ist eine Windböe?

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 (gemittelter Wert über 10 min) 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.



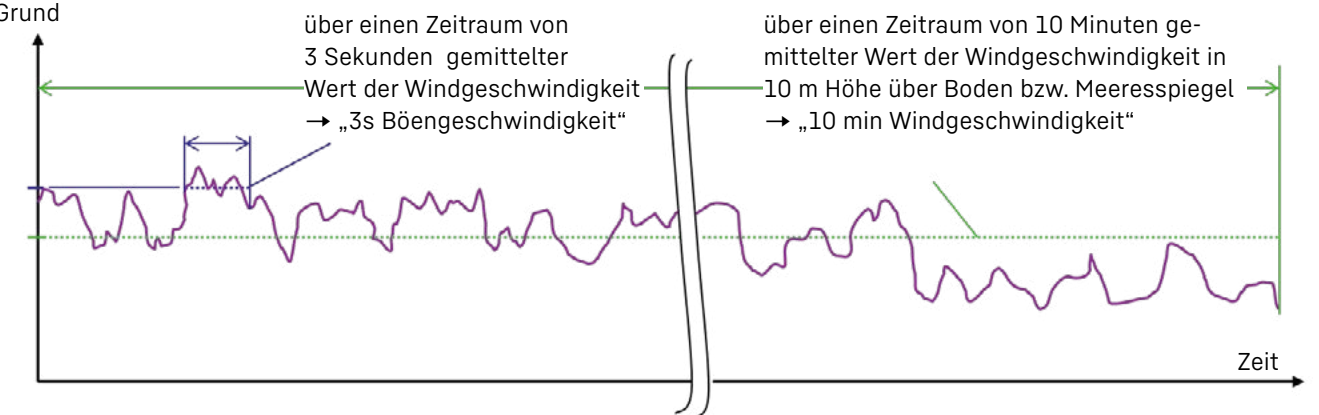
Definition einer Windböe nach EN 13000

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.



Verlauf der Windgeschwindigkeit in einer Höhe z [m] über die Zeit

Windgeschwindigkeit (m/s)
in einer Höhe z=10 m über
Grund



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

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

Verhalten des Windes in großen Höhen

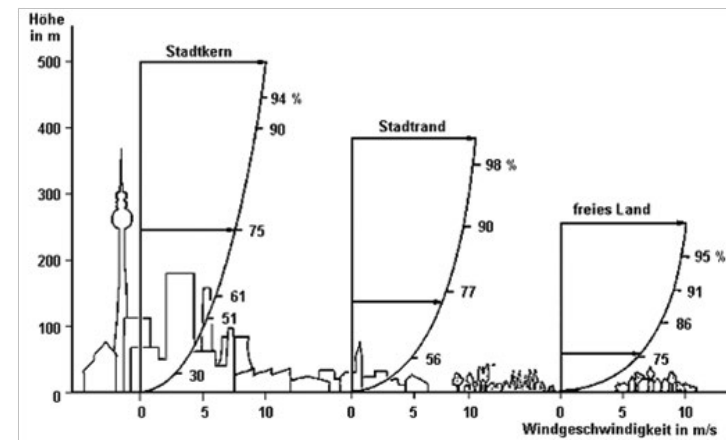
Hoch über dem Boden, in rund 1 Kilometer Höhe, wird der Wind kaum mehr von der Oberflächenbeschaffenheit der Erde beeinflusst. In den niedrigeren Luftschichten der Atmosphäre wird die Windgeschwindigkeit durch die Bodenreibung reduziert. Man unterscheidet zwischen der **Rauigkeit** des Terrains, dem 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

In der Windindustrie verweisen die Techniker:innen 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.



Rauigkeitsklassen 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

Das Phänomen "Düsen-Effekt"

In Städten mit hohen Gebäuden liegt die Rauigkeit bei 4 (vgl. o.s. Tabelle). 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, und darüber hinaus, erreichen.

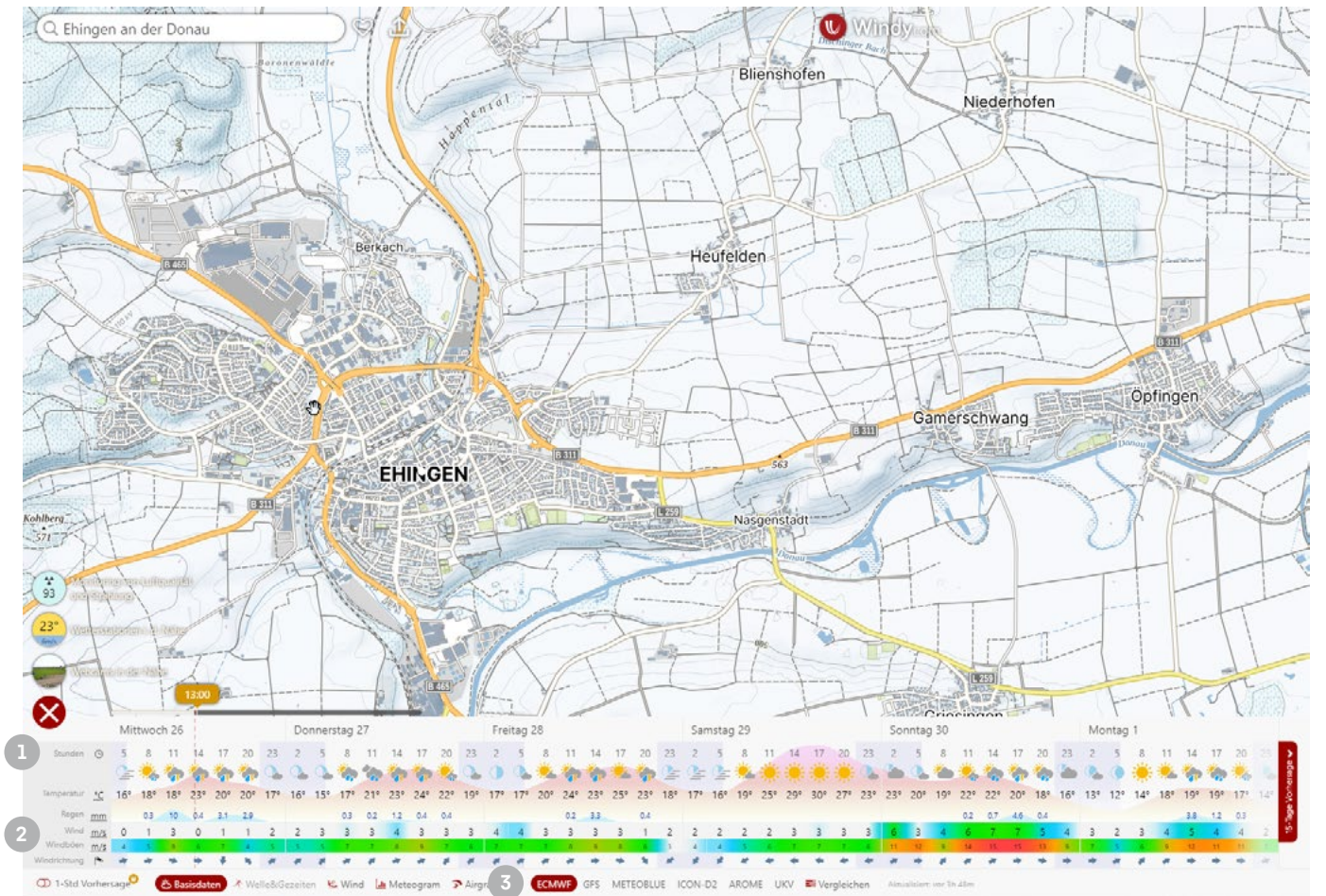
2.2 Wind- und Wetterinformationen

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.windy.com mit ECMWF-Berechnungstool). Beachten Sie jedoch dabei, dass die Böengeschwindigkeit, wie hier im Beispiel, auf eine Höhe von 10 Metern über Grund bezogen ist.



- 1 Tag, Datum und Uhrzeit
- 2 Angaben zur Windstärke, Windböen und Windrichtung. Die Einheit kann durch Anklicken auf m/s, mph, km/h, kt und bft eingestellt werden.
- 3 ECMWF = European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

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.



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 min 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
20	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

Beispiel

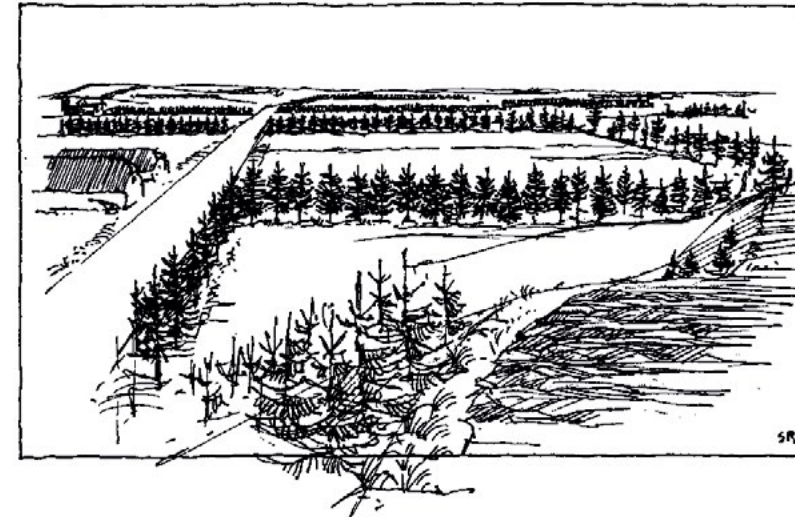
Sie erhalten vom Wetteramt eine Böengeschwindigkeit von 6,2 m/s in 10 Metern über dem Grund. Sie haben z.B. eine max. Arbeitshöhe von 100 m. Laut Berechnung (siehe unten) beträgt die Windböengeschwindigkeit in 100 m Höhe 7,89 m/s. Bei einer maximal zulässigen Böengeschwindigkeit von 9 m/s laut Traglasttabelle darf der Lasthub durchgeführt werden.

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

2.3 Übungen

Übung 4

Bestimmen Sie anhand der Tabelle "Rauigkeitsklassen im Überblick" welche Rauigkeit in den beiden unten aufgeführten Bildern besteht.



Antwort: _____



Antwort: _____

Übung 5

Was versteht man laut 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 über 10min

Übung 6

Ermitteln Sie mit Hilfe des Screenshots (Windy, Seite 13) und der Tabelle „Faktoren zur Ermittlung der Höhenabhängigen Windböengeschwindigkeit (Tabelle, Seite 14) auf Basis der Wind/ Windböengeschwindigkeit in 10 m Höhe“ welche Windgeschwindigkeit im Liebherr-Werk-Ehingen Freitagnacht den 28.06.24 um 23:00 Uhr in 160 m Höhe herrscht.

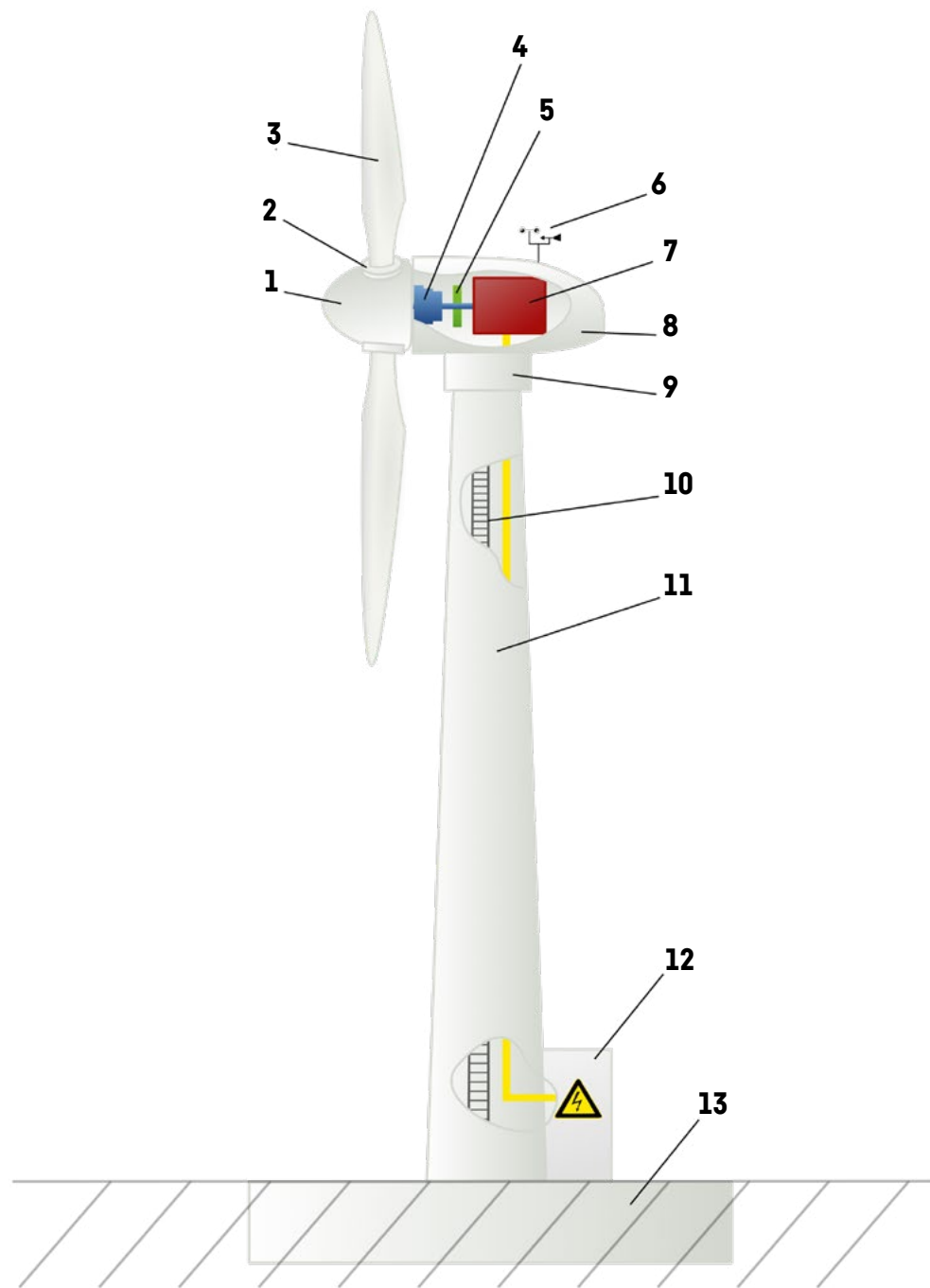
Antwort: _____

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

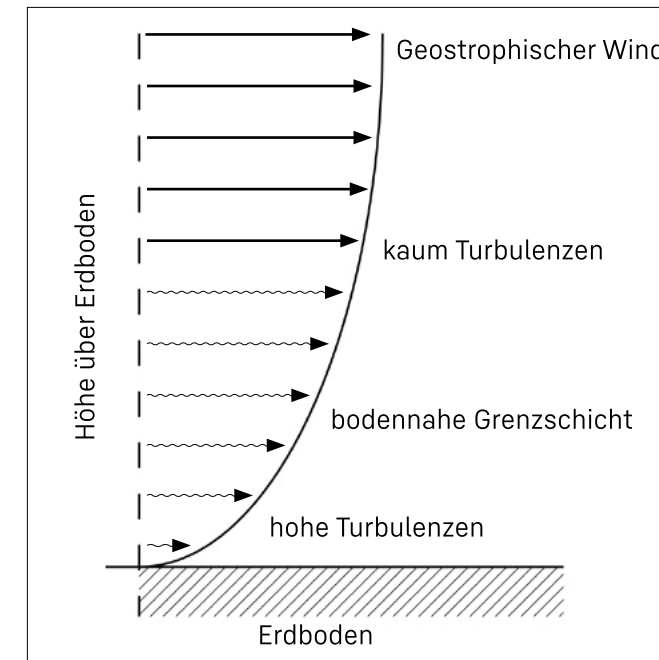


- 1**
Rotornabe
- 2**
Rotorblattverstellung
(Pitchverstellung)
- 3**
Rotorblatt
- 4**
Getriebe
- 5**
Bremse
- 6**
Messinstrumente
- 7**
Generator
- 8**
Gondel
- 9**
Windrichtungsnachführung
(Azimutverstellung)
- 10**
Aufstieg
- 11**
Turm
- 12**
Netzanschluss
- 13**
Fundament

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



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:

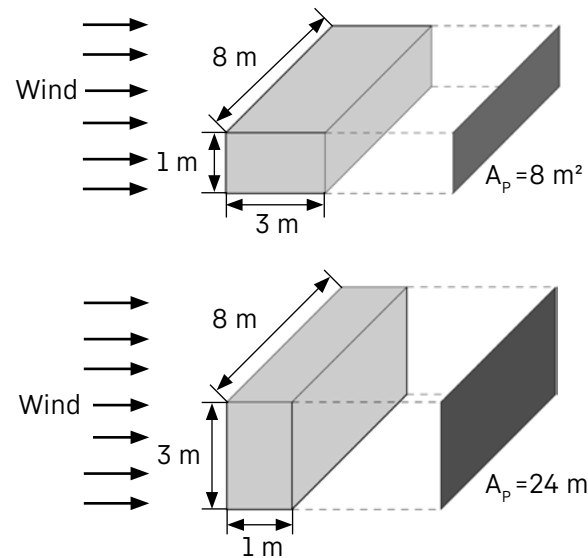
- das Gewicht der Hublast (m_H)
- die maximale Projektionsfläche (A_p) der Last
- den Widerstandsbeiwert (c_w -Wert)
- die aktuelle Windgeschwindigkeit (v_{act})

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.

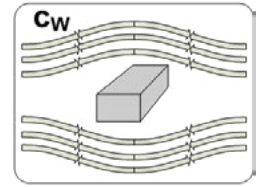


Anhand des Beispiels auf der linken Seite soll verdeutlicht werden, dass ein Gegenstand verschiedene Projektionsflächen haben kann. **Darum muss immer die maximale Projektionsfläche, einer Last oder eines Körpers, angenommen werden.**

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

4.1.3 Definition Widerstandsbeiwert (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.



Einige Beispiele von gängigen Körpern

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

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 im Internet (z.B. www.windy.com) oder beim zuständigen Wetteramt 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 im Internet oder beim zuständigen Wetteramt die zu erwartende/aktuelle Windböen-/ Windgeschwindigkeit für den Zeitraum des Lasthubes eingeholt werden.



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.

Ab LICCON 2 ist die neu berechnete max. mögliche Windgeschwindigkeit in der BSE 1 einstellbar.

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.

4.2 Nicht vorhandene Werte ermitteln bzw. berechnen

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

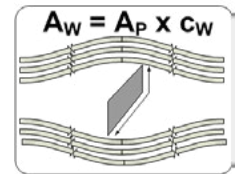
- die Windangriffsfläche
- die zulässige Windgeschwindigkeit aus Traglasttabellenbuch
- der Staudruck
- die Windbelastung

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 Krans eine berechnete maximal zulässige Windgeschwindigkeit. Diese ist jedoch von der Auslegerlänge und der Krankonfiguration abhängig. Für die Berechnung der Windangriffsfläche der Last 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 werden. Zusätzlich muss **vor Erreichen der zulässigen Windgeschwindigkeit** der Windgeschwindigkeitstabelle (wab), der Ausleger an Hand der Aufrichte- und Ablegetabelle (aat) abgelegt werden.

Beispiel 1

t	300.0	350.0	400.0	0.0	50.0	100.0	150.0	200.0	250.0	300.0	350.0	400.0
m	15.0	15.0	15.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
t	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0	170.0
EST1	18x2	18x2	18x2	18x	11x2	14x2	15x2	17x2	18x2	18x2	18x2	18x2
m/s	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0

Beispiel 2

		145 t	10.50 x 9.60m	360°	11.2m/s								
m	t	22.4	28.1	22.4	28.2	33.8	39.5	28.2	33.9	39.6	45.3	39.7	45.3
3.0													
3.5													
4.0													
4.5	116.5		122.5										
5.0	116.0		122.0										
6.0	115.2	87.4	121.1	111.0	102.0		91.2	108.9					
7.0	114.6	84.6	120.4	109.5	100.2		88.3	106.4	98.9		77.4		

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 mit Hilfe des Einsatzplaners

5.1 Methode 1: Windkraftdiagramm

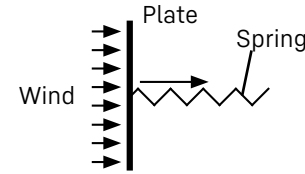
Diese Form zur Ermittlung der zulässigen Windgeschwindigkeit ist Bestandteil des Traglasttabellenbuchs.

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.

4.2.3 Staudruck (p)

Definition Staudruck

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):

$$p = F_w : A_w \quad \text{oder} \quad p = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2$$

4.2.4 Windbelastung (F_w)

Definition Kraft

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):

$$F_w = A_w \cdot p$$

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 = _____ m²

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.

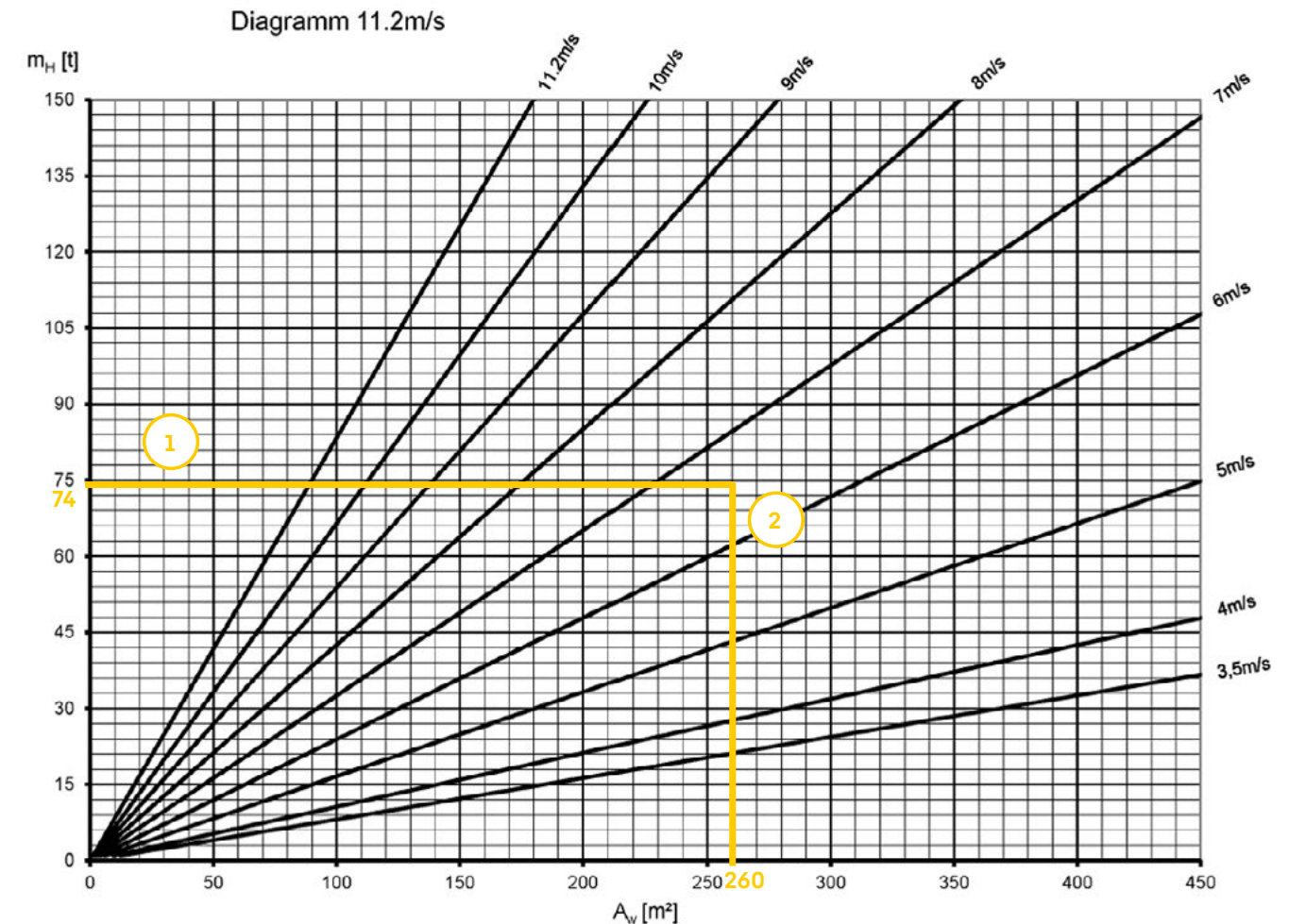
Übung 9

1. Ermitteln Sie aus den Traglasttabellen (4.2.2 Seite 21 / Bsp. 1) die zulässige Windgeschwindigkeit bei 170 t Drehbühnenballast und 200 t Schwebeballast auf 18 m mit 17facher Einscherung.

2. Ermitteln Sie aus den Traglasttabellen (4.2.2 Seite 21 / Bsp. 2) die zulässige Windgeschwindigkeit bei 39,6 m Auslegerlänge.

Antwort: _____

Antwort: _____



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

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 11,2 m/s zulässig. An Hand des Windkraftdiagramms 11,2 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 9,0 m/s wird nicht in das LICCON-Computersystem übernommen. Bei Überschreitung der ermittelten maximal zulässigen Windgeschwindigkeit von 9,0 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

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.

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

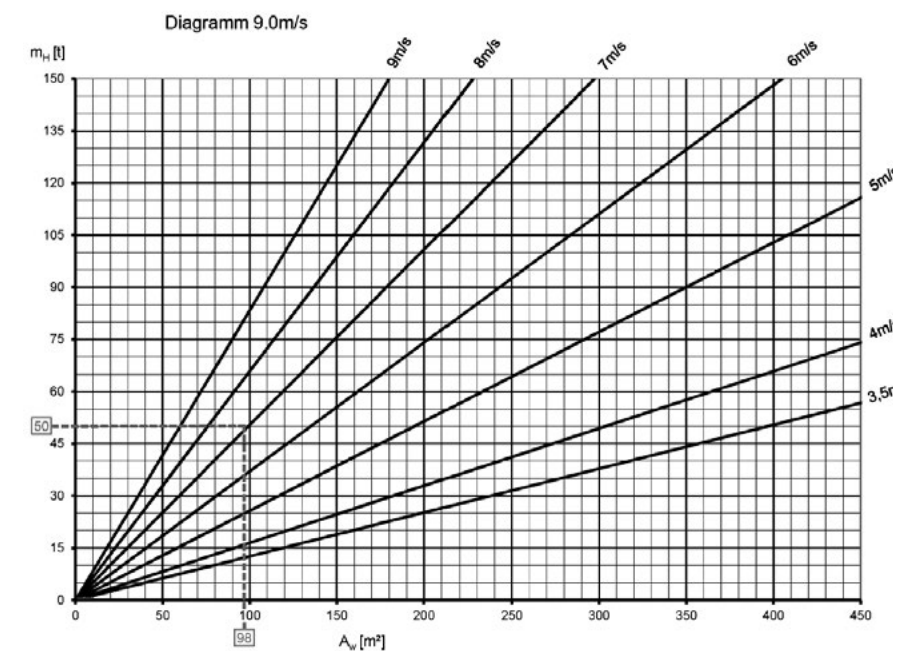
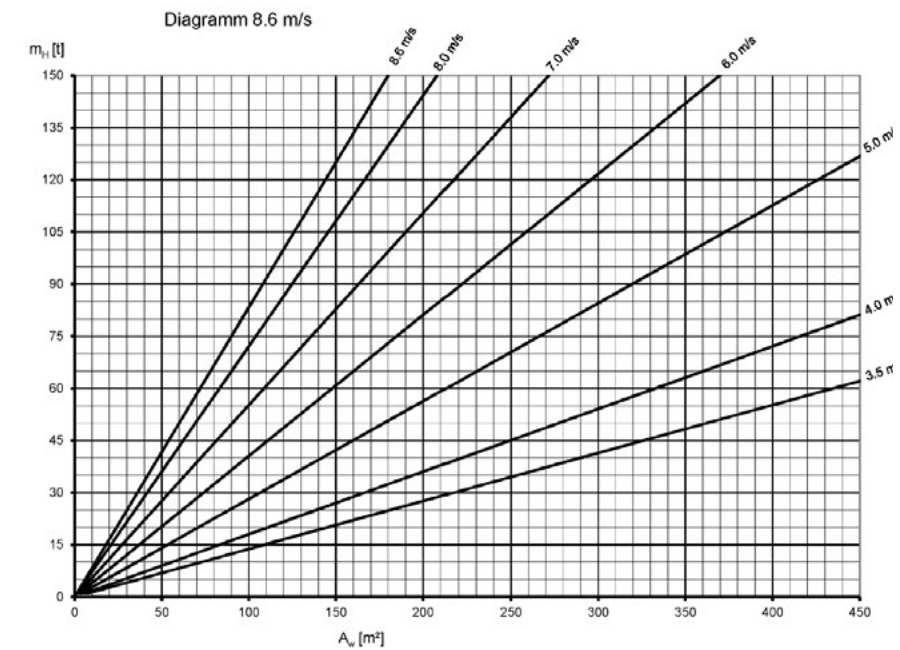
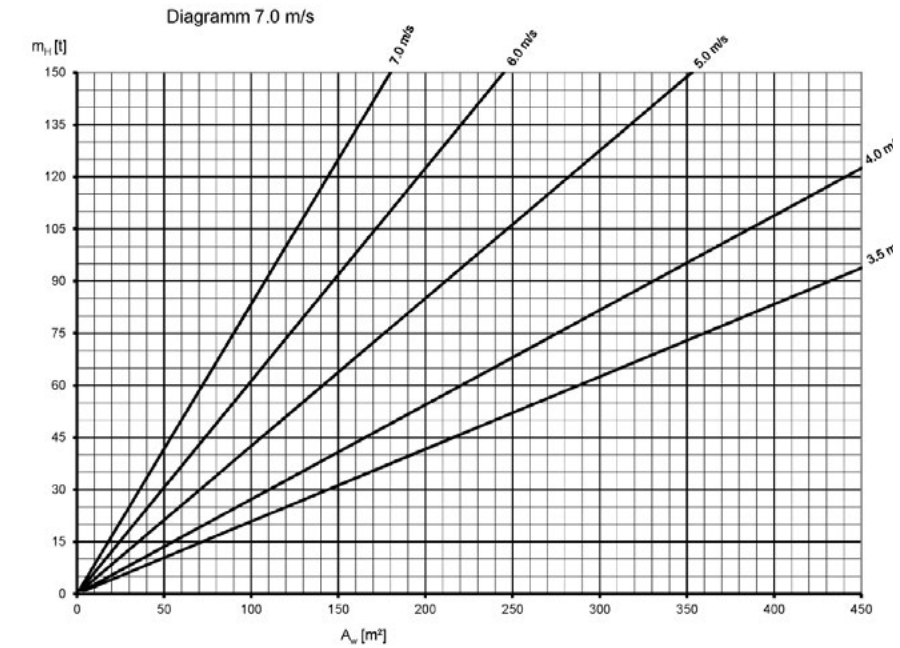
Übungen

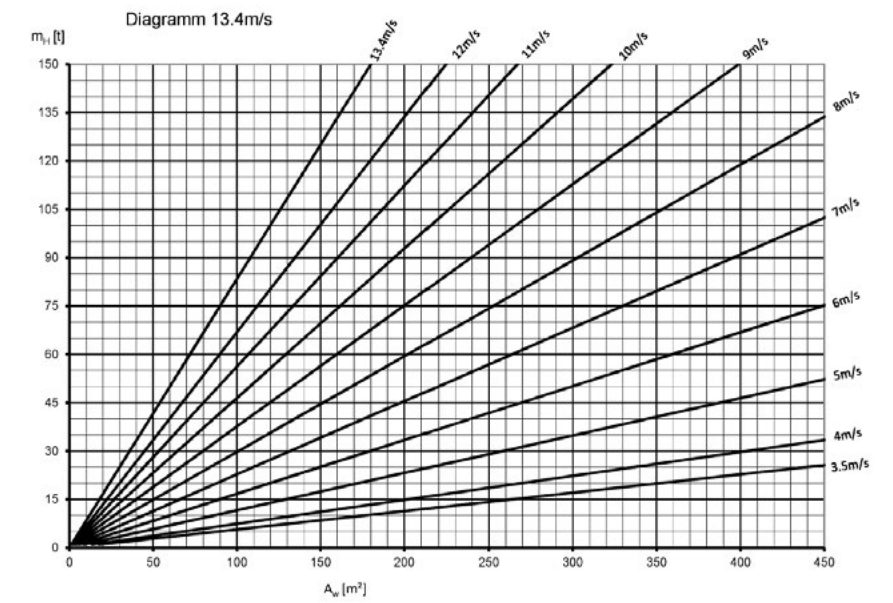
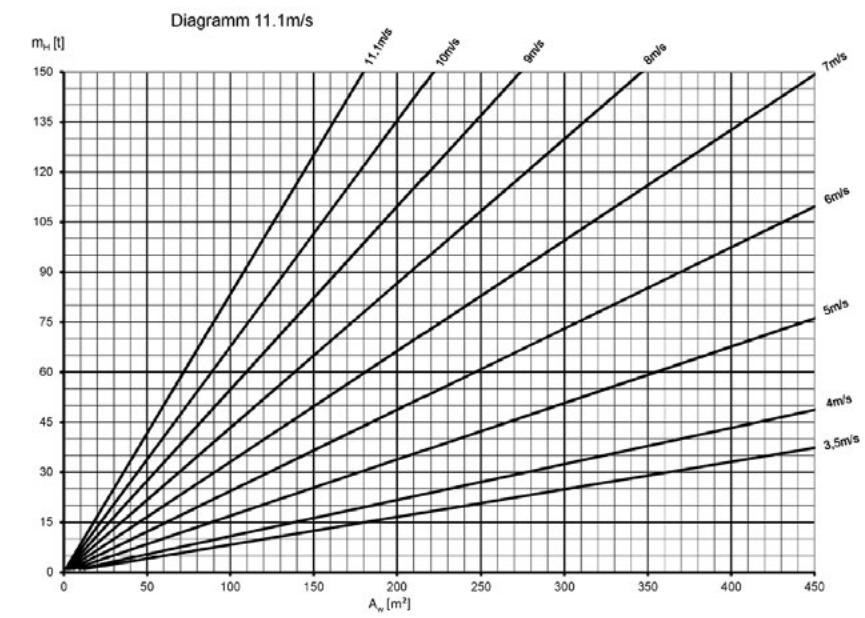
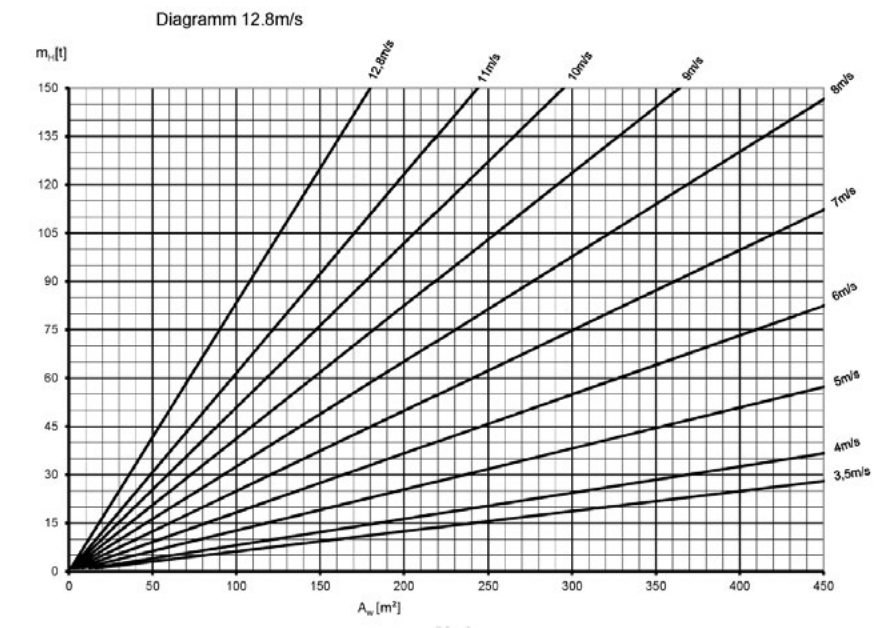
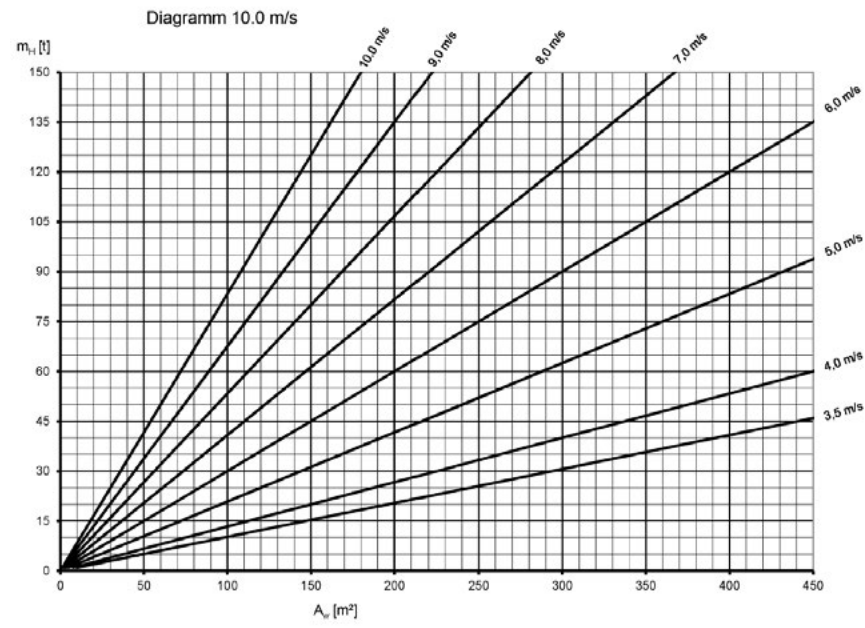
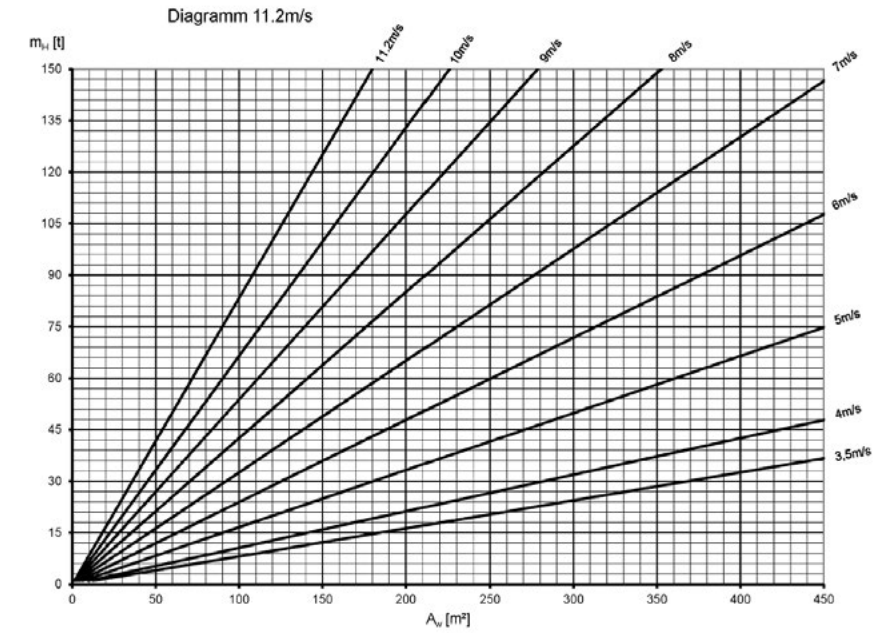
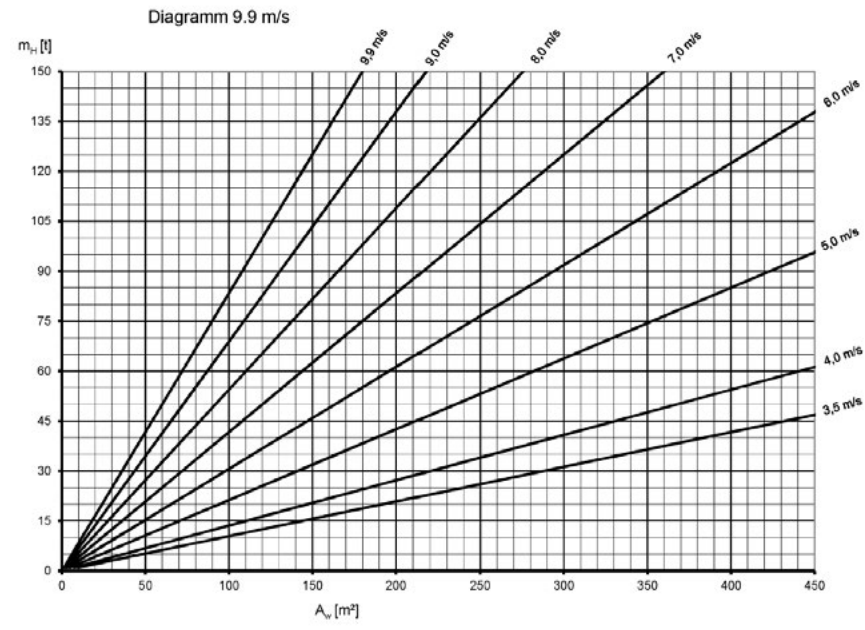
Übung 10

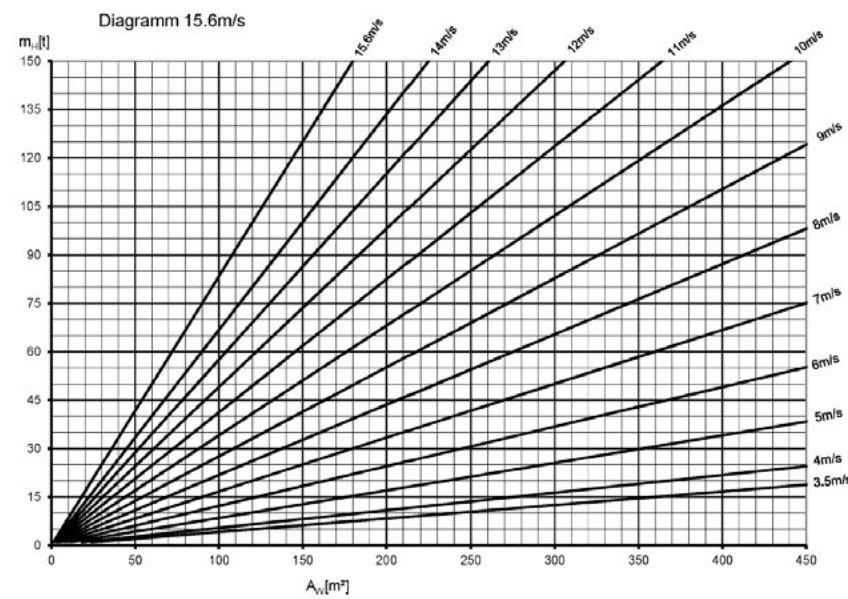
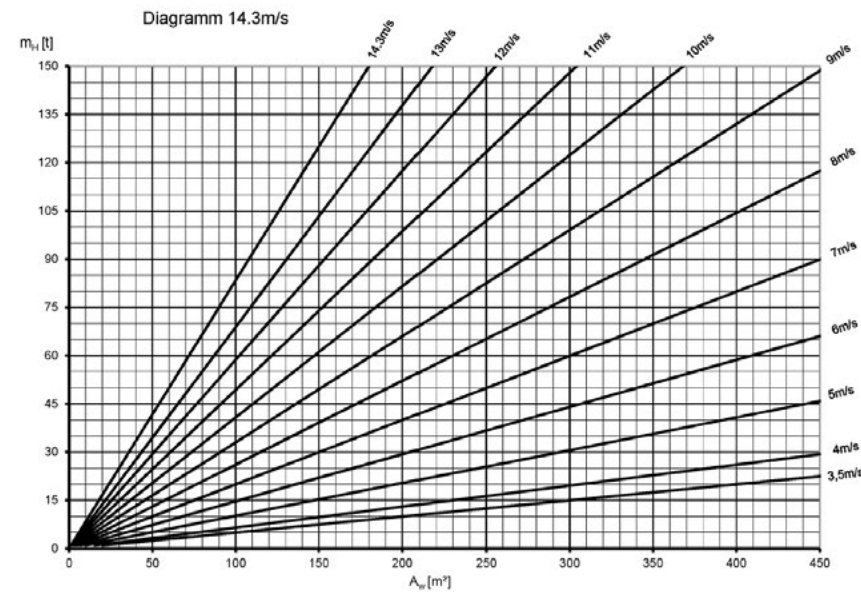
Zeichnen Sie zur Ermittlung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit die Werte aus dem Beispiel 5.1.1 in das entsprechende Windkraftdiagramm auf den folgenden Seiten ein.

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.







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 m² eine Windangriffsfläche von 280 m². Für den benötigten Rüstzustand ist laut Traglasttabelle eine maximale Windgeschwindigkeit von 11,2 m/s zulässig.

Beispiel 1

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

$$v_{\max} = 11,2 \frac{m}{s} \cdot \sqrt{\frac{1,2 \frac{m^2}{t} \cdot 65 \text{ t}}{200 \text{ m}^2}}$$

$$v_{\max} = 5,9 \frac{m}{s}$$

Die Windgeschwindigkeit aus der Traglasttabelle reduziert sich von 11,2 m/s auf 5,9 m/s. Die Last darf bis zu einer max. Windgeschwindigkeit von 5,9 m/s gehoben werden.

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, maximal zulässige Windgeschwindigkeit erreicht, muss der Kranfahrer den Lasthub abbrechen.

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 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.

Beispiel 2

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

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

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

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.

5.3 Übungen

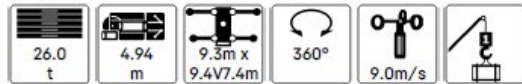
Übung 12

Sie müssen mit einem LTM 1300-6.3 (Code 001.01112) eine Last mit 80 t und einer Windangriffsfläche von 235 m² auf 21 m Höhe bei einer Ausladung von 6 m heben.

Bestimmen Sie die ideale Telekonfiguration aus dem Auszug des Traglasttabellenbuchs (siehe unten).

Ermitteln Sie außerdem die neue maximal mögliche Windgeschwindigkeit für diesen Hub mittels zuständigem Windkraftdiagramm (vgl. Kap. 5.1).

LTM 1300-6.3 T282.001.01112 EN 13000 / ASME B30.5
T: T



m	t												
	14.7	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	24.5	24.5	24.5	24.6	24.6	24.6	
3.0	155.7	116.7	114.5	84.9	72.4	73.0							
3.5	155.0	117.5	114.5	85.4	72.8	73.4	116.5	114.5	94.6	84.5	72.1	72.4	
4.0	144.5	118.3	114.5	85.9	73.3	73.9	117.3	114.5	95.2	85.1	72.6	72.8	
4.5	134.5	119.2	114.5	86.5	73.8	74.4	117.9	114.5	95.7	85.5	73.0	73.1	
5.0	122.4	117.1	114.5	87.1	74.3	74.9	115.6	113.5	96.3	84.0	73.4	73.5	
6.0	104.0	100.1	100.9	88.8	75.6	73.2	96.6	98.1	97.5	87.0	74.3	73.8	
7.0	89.0	85.1	86.8	88.3	77.3	68.1	75.0	78.8	81.1	85.0	75.0	68.1	
8.0	74.4	67.1	68.9	72.9	73.7	62.0	59.1	61.9	64.6	68.4	69.8	62.0	
9.0	62.6	54.1	55.8	59.5	60.6	56.8	48.1	50.8	52.8	56.3	57.9	56.7	
10.0	51.0	44.7	46.3	49.9	50.9	51.7	39.8	42.3	44.4	47.6	49.2	50.6	
11.0	41.6	37.6	39.2	42.7	43.5	44.3	33.3	35.7	37.6	41.0	42.5	43.6	
12.0	34.6	32.1	33.5	36.7	37.4	38.1	28.1	30.4	32.4	35.5	37.0	38.2	
13.0	29.3	26.9	28.2	31.2	32.0	32.5	24.0	26.3	28.1	31.2	32.7	33.8	
14.0		22.7	24.0	26.9	27.6	28.2	20.5	22.7	24.6	27.6	28.9	29.9	
15.0		19.3	20.6	23.4	24.1	24.6	17.6	19.7	21.5	24.1	25.4	26.3	
16.0		16.5	17.7	20.5	21.1	21.7	15.1	17.0	18.6	21.2	22.4	23.3	
18.0		12.1	13.3	16.0	16.6	17.2	10.7	12.5	14.1	16.6	17.8	18.7	
20.0							7.4	9.2	10.8	13.2	14.3	15.2	
22.0							5.0	6.7	8.2	10.6	11.7	12.6	
24.0													
26.0													
28.0													
30.0													
32.0													
34.0													
36.0													
38.0													
40.0													
42.0													
44.0													
46.0													
48.0													
50.0													
52.0													
1	0+	46+	0+	0+	0+	0+	92+	0+	0+	0+	0+	0+	
2	0+	0+	46+	0+	0+	0+	0+	92+	0+	0+	0+	0+	
3	0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+	92+	0+	0+	0+	
4	0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+	0+	46+	0+	0+	
5	0+	0+	0+	46+	0+	0+	0+	0+	0+	46+	46+	0+	
6	0+	0+	0+	0+	46+	0+	0+	0+	0+	0+	46+	46+	
7	0+	0+	0+	0+	0+	46+	0+	0+	0+	0+	0+	46+	
EST1													

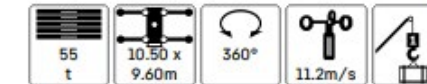
Übung 13

Sie müssen mit einem LTM 1650-8.1 (Code 501.10213) eine Last mit 32 t und einer Windangriffsfläche von 112 m² auf 75 m Höhe bei einer Ausladung von 16 m heben.

Bestimmen Sie die ideale Telekonfiguration aus dem Auszug des Traglasttabellenbuchs (siehe unten).

Ermitteln Sie außerdem die neue maximal mögliche Windgeschwindigkeit für diesen Hub mittels zuständigem Windkraftdiagramm (vgl. Kap. 5.1).

LTM 1650-8.1 T275.501.10213 EN 13000
T5: T5



m	t					
	69.3	73.3	75.0	77.0	79.0	80.0
3.0						
3.5						
4.0						
4.5						
5.0						
6.0						
7.0						
8.0						
9.0						
10.0						
11.0						
12.0	44.2	37.2				
14.0	41.6	35.3	38.4	35.6	32.7	32.1
16.0	38.4	33.5	34.4	33.6	31.2	30.7
18.0	32.4	31.2	28.9	28.8	27.9	27.4
20.0	27.5	26.8	24.6	24.4	23.8	23.3
22.0	23.7	22.9	20.9	21.0	20.3	19.9
24.0	20.3	19.9	17.9	17.9	17.5	17.1
26.0	17.5	17.2	15.4	15.4	15.1	14.6
28.0	15.2	14.9	13.0	13.2	12.9	12.6
30.0	13.2	12.9	11.2	11.3	10.9	10.6
32.0	11.3	11.1	9.5	9.6	9.3	9.1
34.0	9.7	9.6	7.9	8.1	7.8	7.6
36.0	8.3	8.3	6.5	6.7	6.5	6.3
38.0	7.1	7.0	5.3	5.6	5.3	5.1
40.0	5.9	5.9	4.2	4.5	4.3	4.0
42.0	4.9	4.9	3.1	3.4	3.2	2.8
44.0	3.9	4.0		2.3	2.0	
46.0	3.0	3.0				
48.0		2.0				
50.0						
52.0						
54.0						
56.0						
58.0						
59.0						
1	46+	46+	92+	92+	92+	100+
2	92+	100+	92+	92+	100+	100+
3	92+	100+	92+	92+	100+	100+
4	92+	100+	92+	100+	100+	100+
5	92+	100+	92+	100+	100+	100+
m	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
*	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0	135.0
EST1	4x	3x	4x	3x	3x	3x

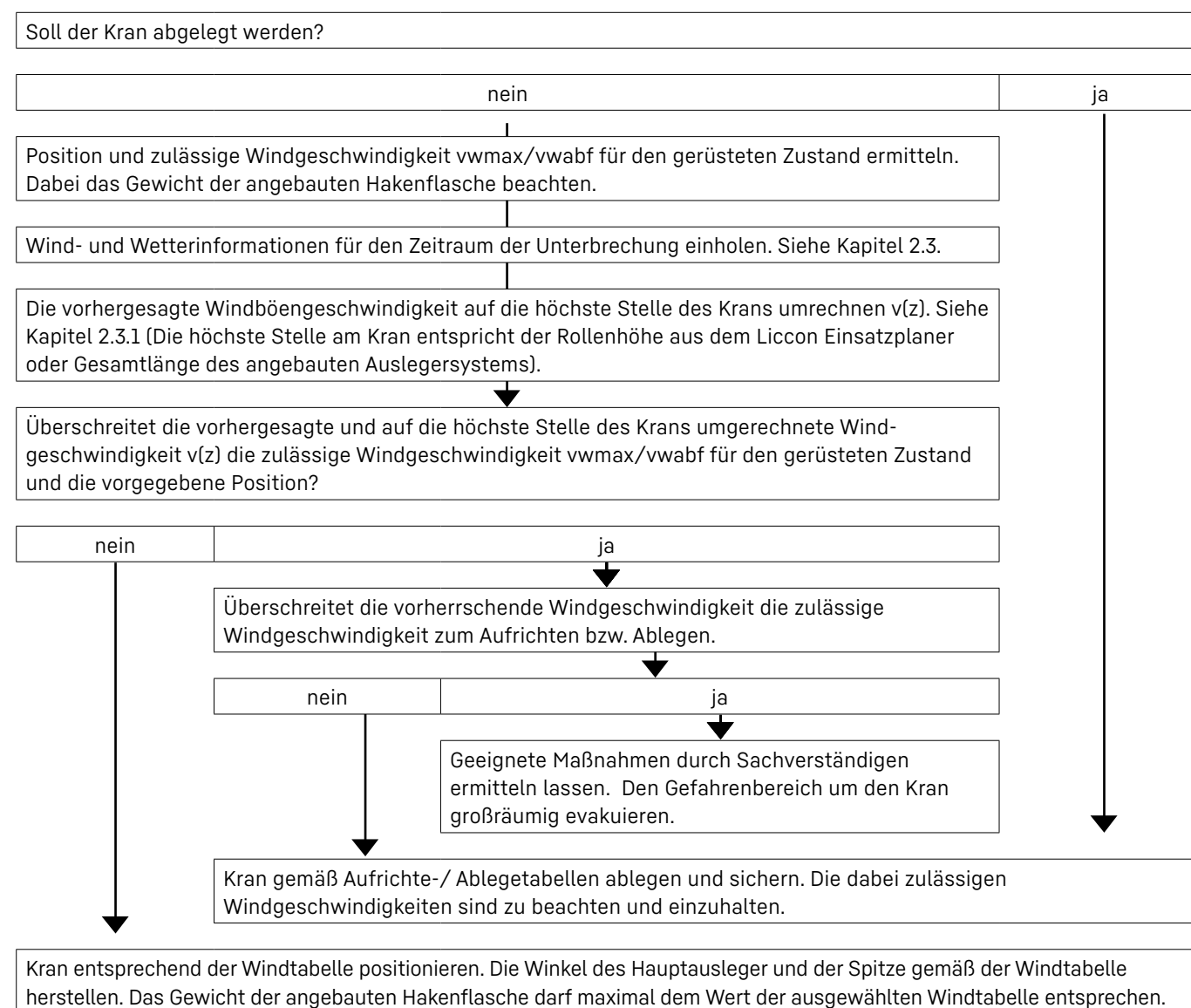
6. Windeinflüsse bei „Kran außer Betrieb“

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 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 x 12.0 m

Hinweis

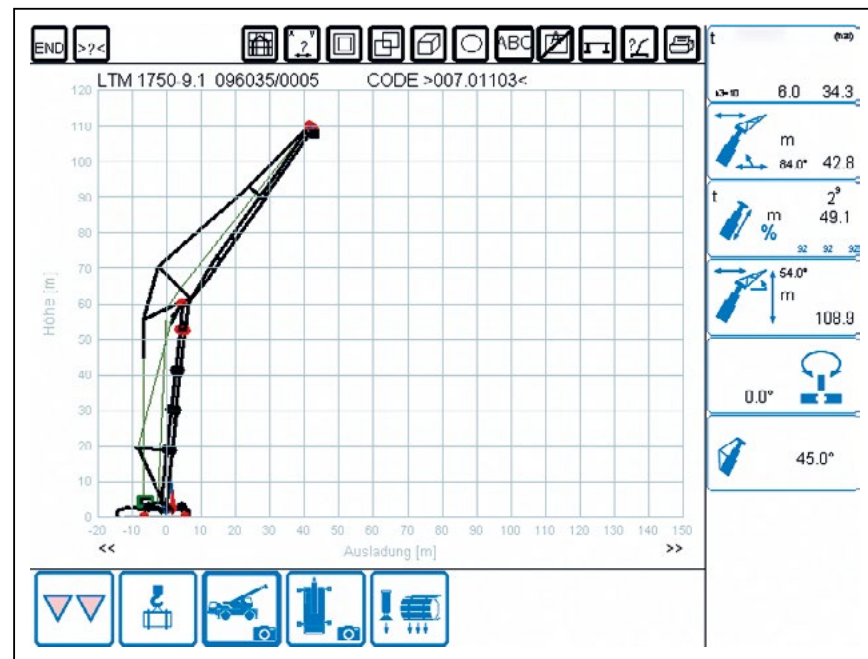
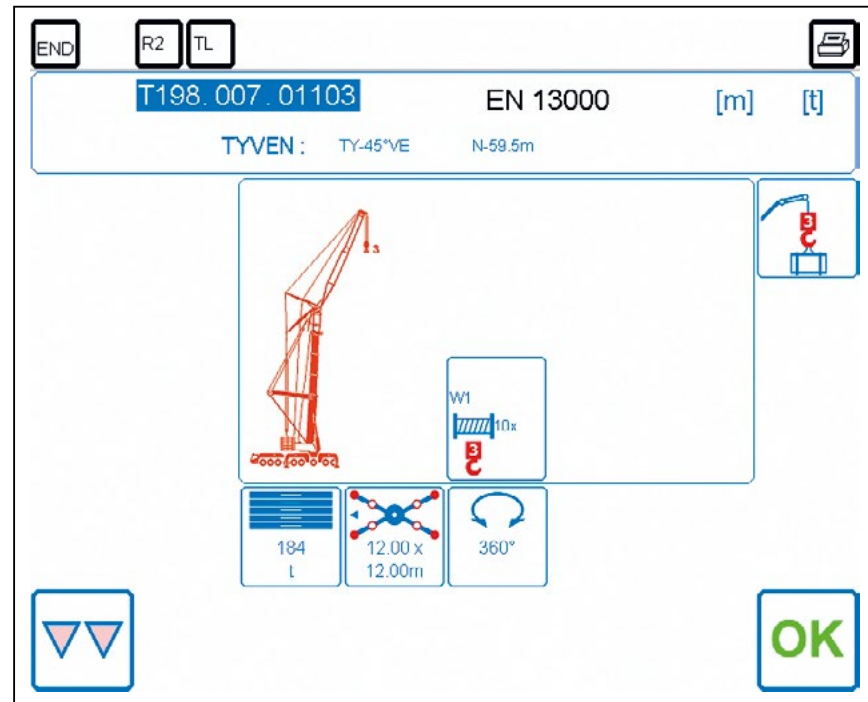
- TYVEN - Abgespannter Teleskopausleger mit TY-Abspannung, Gitterverlängerung und wippbarer Gitterspitze
- 5m Gitterverlängerung
- Y-Bockstellung 45°
- 64.0 t bis 204.0 t Gegengewicht
- Abspannpunkt der Teleskopauslegerabspannung am Exzenter
- der Winkel der Y-Böcke ist entsprechend der Traglasttabelle 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 x 12.0 m

- HA** Hauptausleger
- A** Adapter
- HI** Hilfsausleger
- WHA** Winkel Hauptausleger
- WHI** Winkel Gitterspitze
- RAD** Radius
- HKFL** Maximal zulässiges Hakenflaschengewicht
- OWB** OW Ballast
- VWMAX** Maximal zulässige Böengeschwindigkeit an der höchsten Stelle des Krans

Zulässige Windgeschwindigkeiten									
WAB-TAB198-007-001-00									
H A	A	H I	W H A	W H I	R A D	H K F L	O W B	V W M A X	V
[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[m]	[t]	[t]	[m/s]	
T-16.3 (0/0/0)	A-9.0	N-21.0	84	7	24.5	4.0	var.	15.0	
T-21.8 (0/46/0)	A-9.0	N-21.0	84	0	25.1	4.0	var.	15.0	
T-21.8 (0/0/46)	A-9.0	N-21.0	84	7	25.1	4.0	var.	14.1	
T-27.2 (46/46/0)	A-9.0	N-21.0	84	9	25.6	4.0	var.	14.1	
T-32.7 (92/46/0)	A-9.0	N-21.0	84	8	26.2	4.0	var.	14.1	
T-38.2 (92/92/0)	A-9.0	N-21.0	84	11	26.7	4.0	var.	14.1	
T-43.7 (92/92/46)	A-9.0	N-21.0	84	0	27.4	4.0	var.	14.1	
T-49.1 (92/92/92)	A-9.0	N-21.0	84	0	28.0	4.0	var.	14.1	

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

Ermittlung der Rollenhöhe über den Einsatzplaner



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. Dies bedeutet eine deutliche Zunahme der Sicherheit und muss bei längeren Unterbrechungen immer durchgeführt werden.

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

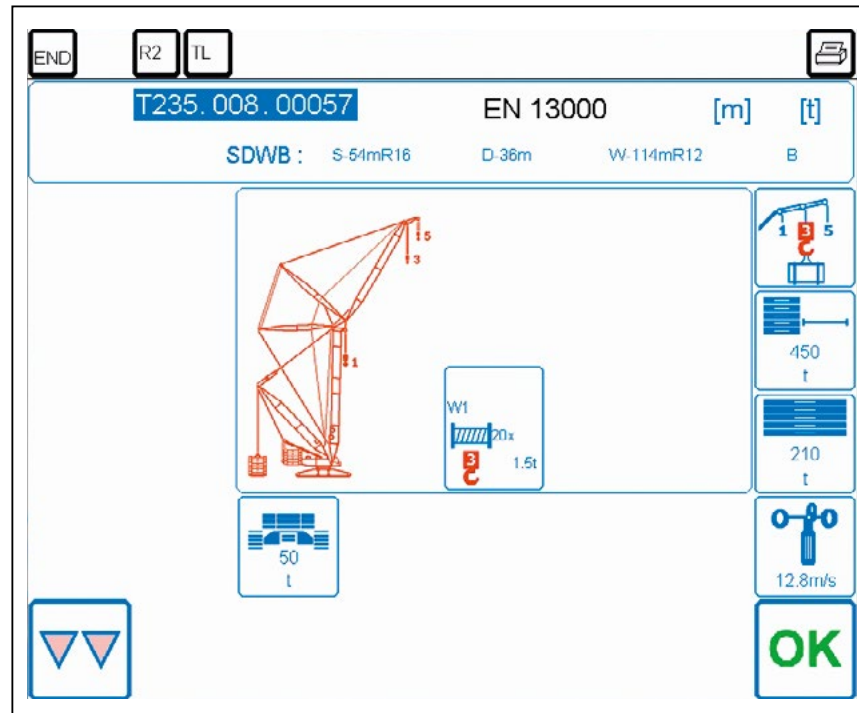
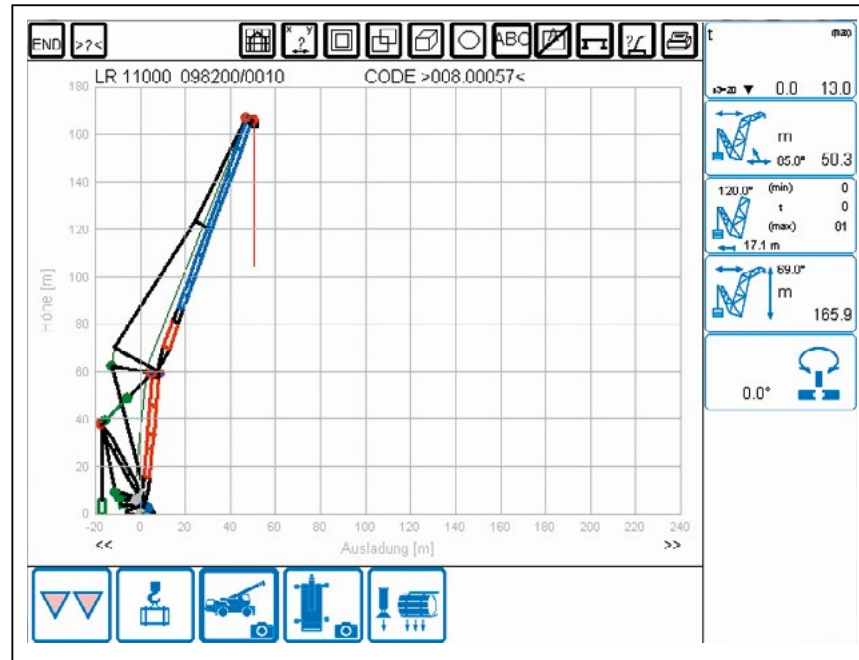
- Hakenflaschengewicht 18 t
- Derrickballast 0 t
- Drehbühnenballast 210 t
- Zentralballast 50 t
- Derrickradius 12 m
- Anzahl Drehwerke 3

- HA** Hauptausleger
- D** Derrick
- HI** Hilfsausleger
- WHA** Winkel Hauptausleger
- WHI** Winkel Hilfsausleger
- RAD** Radius
- HKFL** Maximal zulässiges Hakenflaschengewicht
- OWB** DB Ballast
- ZBL** Zentralballast
- DRAD** Derrickradius
- VWAB** Maximal zulässige Böengeschwindigkeit an der höchsten Stelle des Krans
- VWABF** Maximal zulässige Böengeschwindigkeit an der höchsten Stelle zum Drehen des Krans
- VWRST** Maximal zulässige Windböengeschwindigkeit zum Rüsten des Krans

Zulässige Windgeschwindigkeiten												
wab_235_008_00001_00_000												
H	D	H	W	R	H	O	Z	D	V	V	V	
A		I	H	A	K	W	B	R	W	W	W	
			A	I	D	L	L	A	A	A	R	
								D	B	B	S	
										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

Welche Böengeschwindigkeit ist in 10 m 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 Kranbetreibenden 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 bei weiteren Fragen kompetente Mitarbeitende der Liebherr-Werk Ehingen GmbH zur Verfügung.

Unser aktuelles Portfolio an Krane für die Windkraft finden Sie in gleichnamiger Broschüre als Download auf www.liebherr.com.

8. 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 | Die LMB-Abschaltung erfolgt erst bei einer Last, die größer ist als die max. zulässige Traglast in der Traglasttabelle. |
| Wind von der Seite | Es erfolgt keine LMB-Abschaltung. |

Lösung zu Übung 3

- | |
|--|
| <input type="checkbox"/> gar nicht |
| <input checked="" type="checkbox"/> die Last kann pendeln |
| <input checked="" type="checkbox"/> die Last dreht sich am Seil |
| <input checked="" type="checkbox"/> der Radius der Last kann sich vergrößern |

Lösung zu Übung 4

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

MyLiebherr

Ihr einfacher Zugang in die digitale Liebherr-Servicewelt ist unser MyLiebherr-Portal.
Profitieren Sie sofort von umfangreichen Service- und Zusatzleistungen für Ihre Mobil- und Raupenkrane.

Our MyLiebherr portal is the easy way for you to access Liebherr's digital service world.
Take advantage of extensive basic and additional services for your mobile and crawler cranes.

Avec notre portail MyLiebherr, accédez facilement à l'univers numérique du service de Liebherr.
Bénéficiez dès maintenant d'un service global et de prestations complémentaires pour vos grues mobiles et sur chenilles.

Il vostro accesso semplice al mondo dell'assistenza Liebherr digitale è il nostro portale MyLiebherr.
Approfittate subito dei numerosi servizi e prestazioni aggiuntive per le vostre gru mobili e cingolate.

Su acceso al universo de servicios de Liebherr digital es muy fácil con el portal MyLiebherr.
Disfrute de un servicio completo y de servicios adicionales para sus grúas móviles y sobre orugas.

Портал MyLiebherr – простой доступ к цифровому миру сервиса Liebherr. Пользуйтесь преимуществами широкого спектра сервисных и дополнительных услуг для мобильных и гусеничных подъемных кранов уже сейчас.



One portal, all services

MyLiebherr



Planning

Crane Finder



Operations

Performance



Planning

Crane Planner 2.0



Operations

Documents



Maintenance

Spare Parts Catalogue



Planning

LICCON Work Planner



Training

Digital Training Courses



Maintenance

Parts Shop

Änderungen vorbehalten · Subject to modification · Sous réserve de modifications · Con riserva di modifiche · Salvo modificaciones · Возможны изменения

Liebherr-Werk Ethingen GmbH · Postfach 1361 · 89582 Ethingen, Germany
Phone +49 73 91 5 02-0 · www.liebherr.com

MyLiebherr



Printed in Germany (1)
lwe-P403.DE.12.2024