



**EUROPEAN
MATERIALS HANDLING
FEDERATION (FEM)
(Europäische
Vereinigung der Förder-
und Lagertechnik)**

**FEM
5.016
(3. Ausgabe)
April 2017**

- Guideline -

**“Safety Issues in Wind Turbine Installation and
Transportation”**

- Leitfaden -

**“Sicherheitsrisiken während Aufbau und Transport von
Windkraftanlagen”**

- Guide -

**"Risques relatifs à la sécurité lors de l'installation et le
transport d'éoliennes"**

Europäische Vereinigung der Förder- und Lagertechnik - Produktgruppe Krane und

Urheberrecht: FEM PG CLE

Quellen: siehe Ende des Dokuments

Erhältlich in: Englisch (EN), Französisch (FR), Deutsch (DE), Italienisch (IT), Spanisch (ES)

INHALT

	Seite
1. Einleitung	4
2. Geltungsbereich	5
3. Grundlagen	5
3.1 Kran-Tragfähigkeit und Traglasttabellen	5
3.2 Windangaben in Traglasttabellen	5
3.3 Windeinwirkung auf den Kran und die Last	6
3.4 Grundlagenwissen "Wind"	8
4. Planung des Hubbetriebs und Ermittlung der zulässigen Windgeschwindigkeit	9
5. Windauswirkungen beim Auf-/Abrüsten von Auslegersystemen	14
6. Außerbetriebnahme des Krans aufgrund der Windverhältnisse (Abstellen des Krans)	14
7. Abstützlasten und Bodendrücke	14
8. Risiken für Fahrzeugkrane bei Reparaturen an Windkraftanlagen	15
9. Zufahrtsstraßen	16
9.1 Vorbereitung	16
9.2 Kran in teilweise aufgerüstetem Zustand verfahren	17
10. Schlussbemerkung	17
Anlage 1: Theoretischer Hintergrund	19
Anlage 2: Leitfaden zu Anemometern / Windgeschwindigkeitsanzeigern bei Fahrzeugkranen	20
Anlage 3: Windgeschwindigkeit als Funktion der Höhe über Grund	22
Anlage 4: Staudruck als Funktion der Höhe über Grund	23
Anlage 5: Typische Körperformen	24
Anlage 6: Beaufort-Skala	25
Anlage 7: Tragfähigkeitstabelle	26
Literaturverzeichnis	27
Referenzen	28

Rechtlicher Hinweis: Das Dokument erfasst weder jedes vorstellbare Szenario, noch stellt es eine verbindliche Interpretation der bestehenden rechtlichen Rahmenbedingungen dar. Sie ersetzt nicht die Auseinandersetzung mit den einschlägigen Richtlinien, Gesetzen und Vorschriften und ist dazu auch nicht in der Lage. Weiterhin müssen die spezifischen Merkmale der einzelnen Produkte und deren verschiedene Anwendungen berücksichtigt werden (vgl. Bedienungsanleitungen der eingesetzten Geräte). Deshalb unterliegen die in diesem Dokument genannten Bewertungen und Verfahren einer Vielzahl von Einflussfaktoren.

Corrigendum (2. Ausgabe)

- a) Bild 3 korrigiert
- b) Kapitel 4 "Um eine schnelle und einfache ... im Arbeitsablaufdiagramm zur Bestimmung der zulässigen ~~kleinsten~~-Windgeschwindigkeit ermittelt werden."
- c) Bild 4 Legende hinzugefügt

Corrigendum (3. Ausgabe)

- a) Aktualisierung von Kap. 5, 6, 7 und 9.2
- b) Theoretischer Hintergrund in Anlage 1 verschoben
- c) Leitfaden zu Anemometern / Windgeschwindigkeitsanzeigern bei Fahrzeugkranen als Anlage 2 hinzugefügt
- d) Bisherige Anlagen 1-5 werden entsprechend Anlagen 3-7.

1. Einleitung

Das Heben von Lasten bei starkem Wind beinhaltet ein nicht zu unterschätzendes Gefahrenpotenzial. Zahlreiche schwere Unfälle wurden bereits durch die beim Hubvorgang auf die Lasten einwirkenden Windkräfte verursacht, insbesondere in der Windenergiebranche. Daher veröffentlichten ESTA (die Europäische Vereinigung der Schwerlasttransporteure und Krandienstleister) und FEM (die Europäische Vereinigung der Hersteller von Hebezeugen, Produktgruppe Krane und Hebezeuge, Fahrzeugkrane) bereits im April 2010 Sicherheitshinweise in mehreren Fachzeitschriften (N 0219 Dokument erstellt durch FEM/ESTA).

Vor Beginn des Hubbetriebs muss der Kranführer sicherstellen, dass weder der Kran noch die Last einem Wind ausgesetzt ist, der die vom Kranhersteller vorgegebenen Grenzwerte überschreiten könnte. Dazu ist es wichtig, bereits deutlich vor dem Hubvorgang Informationen über die voraussichtliche Windsituation einzuholen. Besonders gefährlich sind jedoch lokale Böen, die z. B. in Verbindung mit schweren Regengüssen und Stürmen auftreten können.

Ferner klagen zahlreiche Transportunternehmer und Kranvermieter über enge Zeitfenster (Zeitdruck) hinsichtlich der Vorlaufzeit (Aufbau von Windkraftwerken). Insbesondere auch gegen Ende eines Kalenderjahres wird die Vorlaufzeit häufig unannehmbar knapp. Ohne eine angemessene Vorlaufzeit werden mit höherer Wahrscheinlichkeit sicherheitskritische "Abkürzungen" gewählt, insbesondere in Bezug auf Unfallrisiken durch Kranbetrieb bei höheren Windstärken als den vom Kranhersteller zugelassenen Werten.

Dieses Dokument will Kranführer, Projektplaner und Kranunternehmen über Sicherheitsaspekte bei der Aufstellung von Windkraftwerken informieren, insbesondere über Windauswirkungen auf einen Fahrzeugkran am Einsatzort. Das dritte Kapitel stellt eine Einführung in die Grundlagen von Windbelastungen dar, wie sie z. B. in der Europäischen Norm über Fahrzeugkrane EN13000 aufgeführt sind. Im Folgenden wird die Berechnung von Windbelastungen und schließlich spezifischen Lastfällen, wie sie z. B. beim Aufstellen von Windkraftturbinen auftreten, dargestellt. Weiterhin wird aufgeführt, welche Informationen erforderlich sind.

Dieses Dokument erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und gilt zusätzlich zur Bedienungsanleitung für den jeweiligen Kran. Somit ersetzt es nicht die Bedienungsanleitung und das Traglasttabellenbuch für den betreffenden Kran.

Dieses Dokument soll zu einer höheren Sensibilität für die Arbeit mit schweren Geräten beitragen. Hiermit fasst FEM die Erfahrung aller Hersteller zusammen, die in der Vereinigung zusammengeschlossen sind.

2. Geltungsbereich

Dieses Dokument gilt für Fahrzeugkrane (z. B. Teleskopkrane mit Radfahrwerk, Raupenkrane). Es versteht sich nur als Nachschlagewerk und Überblick und möchte Anleitung zur Einschätzung von Risiken bieten.

3. Grundlagen

3.1 Kran-Tragfähigkeit und Traglasttabellen

Die Tragfähigkeit eines Fahrzeugkrans in einem bestimmten Rüstzustand wird durch zahlreiche verschiedene Einflussfaktoren begrenzt (z. B. konstruktive Bauteilfestigkeit, Stabilität des Krans als Ganzes). Daher wird die zulässige Lastaufnahmefähigkeit je nach Rüstzustand in einer sogenannten Traglasttabelle als Kombination der zulässigen Last beim entsprechenden Radius erfasst (siehe Beispiel in Anlage 7). Diese Kombination aus Last/Radius wird durch die Lastkontrolle des Krans überwacht (Überlastsicherung RCL).

Es kann erforderlich sein, die in der Traglasttabelle angegebenen zulässigen Lasten weiter zu vermindern, wenn die in die Berechnung einfließenden Annahmen überschritten werden (siehe weiter unten in Kapitel 3.2). Für diese aufgabenspezifische Bewertung ist der Kranbediener verantwortlich.



Die Planung und Ausführung eines Hubvorgangs mit Lasten, die die zulässigen Tragfähigkeiten überschreiten, einschl. z. B. vorhersehbare Windeinwirkung sowie das Überbrücken der Lastüberwachung des Krans, kann zu Unfällen mit Verletzungen bzw. Todesfolge führen!

3.2 Windangaben in Traglasttabellen

Häufig werden Wind und gelegentliche Windstöße beim Hubbetrieb mit Fahrzeugkranen unterschätzt. Beim Heben von Lasten mit großer Windangriffsfläche, wie z. B. Rotorblättern oder vollständigen Rotoreinheiten von Windkraftanlagen, können die Bedingungen und Annahmen für die Berechnung von Windbelastungen erheblich von den in der Norm EN 13000 vorgesehenen Standardwerten abweichen. Diese Standardwerte sind die Grundlage für die Kranberechnungen; die theoretischen Windbelastungen als solche können erheblich überschritten werden.

Alle Fahrzeugkrane, die auf dem europäischen Markt im Einsatz sind, müssen die Anforderungen der Europäischen Maschinenrichtlinie 2006/42/EC erfüllen. Die einschlägige Europäische Norm für Fahrzeugkrane ist die EN 13000, die Lastannahmen zur Berechnung der Tragekonstruktion eines Fahrzeugkrans umfasst. Hinsichtlich der Berechnung von Windkräften auf die gehobene Last sind folgende Annahmen vorgegeben:

- 1) Eine standardmäßige Projektionsfläche der gehobenen Last von 1 m^2 je Tonne.
- 2) Ein Standard-Strömungswiderstandskoeffizient der gehobenen Last von $c_w = 1,2$.

Jedoch

- weisen Rotorblätter oder Rotorbaugruppen in der Regel eine wesentlich höhere Projektionsfläche auf als $1 \text{ m}^2/\text{t}$; diese ist häufig um den Faktor 5 – 10 höher,
- Der typische Beiwert c_w einer vollständigen Rotorbaugruppe ist häufig gleich 1,5 – 1,8 und nicht gleich dem Wert 1,2, wie in der Norm EN 13000 angenommen.

Daher gelten die zulässigen Windgeschwindigkeiten in den Kran-Traglasttabellen häufig nicht für das Heben von Rotorblättern, Rotorbaugruppen oder anderen Konstruktionen mit großen Windangriffsflächen. Die zulässigen Windgeschwindigkeiten beim Heben dieser Teile müssen niedriger sein als beim Heben von Mastabschnitten, einer Gondel oder anderen schweren Elementen.

In Bezug auf die EN 13000 handelt es sich bei der in den Traglasttabellen genannten Windgeschwindigkeit um die sogenannte "3-Sekunden-Böe", gemessen am höchsten Punkt des Auslegersystems, und nicht um die mittlere Windgeschwindigkeit, gemessen in 10 Metern Höhe über einen Zeitraum von 10 Minuten, wie von den meisten Wetterstationen angegeben. Die Windgeschwindigkeit bei einer 3-Sekunden-Böe kann um das Doppelte und mehr darüber liegen, d. h. die Berücksichtigung der mittleren Windgeschwindigkeit auf einer Höhe von 10 m kann eine erhebliche Unterschätzung der tatsächlichen Gegebenheiten bedeuten!

Die folgenden 3 Faktoren

- Windangriffsfläche des Rotors / der Rotorbaugruppen,
- Strömungswiderstandskoeffizient c_w und
- Windgeschwindigkeit bei einer "3-Sekunden-Böe", gemessen am höchsten Punkt des Auslegersystems,

sind einige der Gründe, weshalb eine sorgfältige Planung erforderlich ist, die Witterungsbedingungen beobachtet werden müssen und bei der Planung des Hebens von Rotorblättern / Rotorbaugruppen Wartezeiten vorgesehen / einkalkuliert werden müssen.



Beim Heben von Rotorblättern oder Rotorbaugruppen sollte mit Verzögerungen im Hubbetrieb gerechnet werden, da die zulässigen Windgeschwindigkeiten häufig erheblich niedriger sind als die maximal zulässigen Windgeschwindigkeiten laut der Krantraglasttabelle. Das Risiko von derartigen Verzögerungen muss bei der Planung berücksichtigt werden.

3.3 Windeinwirkung auf den Kran und die Last

Die Windgeschwindigkeit und -Richtung, die Form und Größe der Last wirken sich erheblich auf die Stabilität und Belastung von Fahrzeugkränen aus.

Bei einer doppelt so hohen Windgeschwindigkeit erhöht sich die Windbelastung um das Vierfache und die Windgeschwindigkeit steigt mit zunehmender Höhe über dem Bodenniveau an (siehe nachfolgendes Kapitel 3.3). Die Form der Last beeinflusst den Windwiderstand und als solche die Windbelastung, die auf den Kran einwirkt (siehe nachfolgendes Kapitel 4).

Die Windeinwirkung auf Kran und Last führt zu Belastungen der Abstützungen, die von den Werten, die in Handbüchern veröffentlicht oder mit den vom Hersteller mitgelieferten Einsatzplanungs-Tools berechnet werden, erheblich abweichen (siehe auch Kapitel 7).

Wenn der Wind auf die Last auftrifft, kann diese in Windrichtung ausschlagen. Das bedeutet, dass die Kraft der Last nicht mehr senkrecht nach unten auf den Ausleger wirkt. Je nach Windgeschwindigkeit, Windangriffsfläche der Last und Windrichtung kann der Radius der Last zunehmen oder es können unzulässige Querkräfte auf den Kranausleger einwirken.

Die auf die Last einwirkenden Querkräfte können zu einer seitlichen Neigung der Hubseile führen, die die Rollen beschädigen und das Hubseil durch Verdrehen beschädigen kann.



Wenn sich die durch das Ausschwingen erzeugte Last dem Bereich der für den jeweiligen Rüstzustand maximal zulässigen Last nähert, könnte die RCL-Abschaltung ständig aktiviert und deaktiviert werden.

Der Wind kann von vorne, hinten und seitlich auf den Kran und die Last auftreffen. Alle drei Richtungen müssen für den Kran und die Last berücksichtigt werden und beeinflussen den Kran in unterschiedlicher Weise:

Der **Wind von vorne** vermindert nicht die Belastung des Hakens, des Hubseils, der Seilrollen und der Hubwinde, da die Last weiterhin mit ihrer Schwerkraft wirkt.

Bei Wind von vorne wird das Auslegersystem entlastet, da der Wind auf die Windangriffsfläche des Auslegers wirkt und somit das Eigengewicht des Auslegers vermindert. Der Lastanzeigewert der Überlastsicherung (RCL) liegt unter der tatsächlichen Nutzlast.



Die entsprechende Abschaltgrenze der RCL wird bei einem größeren Radius liegen, als im Traglasttabellenbuch angegeben. Daher wird der Kran am Abschaltpunkt überlastet.

Seitenwind, der auf den Kranausleger und die Last wirkt, ist für den Fahrzeugkran besonders kritisch.



Die zusätzliche Belastung aufgrund von Seitenwind wird von der Überlastbegrenzung (RCL) nicht erkannt und angezeigt. Die Lastanzeige ist ähnlich der Anzeige beim Einsatz ohne Wind. Dies kann zu Kranüberlastung hinsichtlich dessen Festigkeit und Stabilität führen.

Bei **Rückenwind** wird das Auslegersystem zusätzlich belastet. Die Lastanzeige der RCL ist höher als die tatsächliche Nutzlast. Die RCL-Abschaltung wird bei einer Last ausgelöst, die kleiner ist als die laut Traglasttabelle maximal zulässige Last.



Ein Hubeinsatz (vor allem beim Heben von Lasten mit großer Windangriffsfläche) sollte nie bis knapp an die Grenzwerte der Traglasttabelle geplant werden.

Wenn die Last bei einem Hubeinsatz geschwenkt wird, können alle besprochenen Windrichtungen selbst bei unveränderter Windrichtung den Beladezustand beeinflussen.

Qualitäts- und Technologieverbesserungen hinsichtlich des Standes der Technik von Fahrzeugkränen, ein Kranführer mit mehrjähriger Berufserfahrung und Qualifikation in Bezug auf Windeinflüsse, sowie eine reichlich im Voraus durchgeführte professionelle Hubplanung tragen dazu bei, die Unfallgefahr erheblich zu vermindern.

3.4 Grundlagenwissen "Wind"

Windgeschwindigkeiten werden in der Regel klassifiziert mit der sogenannten "**Beaufort-Skala**" in "bft." (siehe Anlage 6). Dies ist eine Skala von 0 bis 12 nach phänomenologischen Kriterien (durch Beobachtung von Naturphänomenen). Die Windstärken lassen sich anhand von typischen sichtbaren Auswirkungen und Naturbeobachtungen auf die Landschaft bestimmen. Die Beaufortstärke bezieht sich in der Praxis auf den Mittelwert der Windgeschwindigkeit innerhalb eines Zeitraums von **10 Minuten** in einer Höhe von 10 Metern. Beaufort-Werte liegen im Bereich von 0 (Windstille) bis 12 (Orkan).

Ein starker Windstoß, der innerhalb eines Wind- oder Sturmsystems aktiv ist, ist bekannt unter der Bezeichnung **Böe**. Immer wieder sind Hörer des Wetterberichts überrascht, wenn von einer Windgeschwindigkeit von z. B. 33 km/h die Rede ist, da sie den Wind wesentlich stärker einschätzen. Tatsächlich haben wir es bei Böen mit einem Windstoß zu tun, der wesentlich stärker und von der mittleren Windgeschwindigkeit unabhängig ist.

Somit kann eine Böe 60 km/h oder mehr erreichen, während die Mittelwerte deutlich niedriger liegen (z. B. 33 km/h).



Die Geschwindigkeit einer Böe ist der Mittelwert der Windgeschwindigkeit, die für die Dauer von **3 Sekunden** gemessen wird. Die Geschwindigkeit der Böe ist höher als die mittlere Windgeschwindigkeit, die über einen Zeitraum von 10 Minuten gemessen wird. Ferner kann die Windrichtung während einer Böe um bis zu ca. 30 Grad abweichen, was zu zusätzlichen unerwünschten Nebenerscheinungen führen kann.

Hoch über dem Bodenniveau, auf einer Höhe von ca. 1 Kilometer, wird der Wind nicht mehr von den Oberflächeneigenschaften des Bodens beeinflusst. Die Windgeschwindigkeiten in den unteren Luftschichten werden durch den Reibungswiderstand des Bodens vermindert. Es wird unterschieden zwischen der **Boden-rauigkeit**, dem Einfluss von Hindernissen und dem Einfluss von Landschaftskonturen, die ebenfalls unter der Bezeichnung "Orografie" des Geländes bekannt ist. Diese Rauigkeitsklassen sind: 0 (Wasserfläche) und 4 (Städte mit sehr hohen Gebäuden).

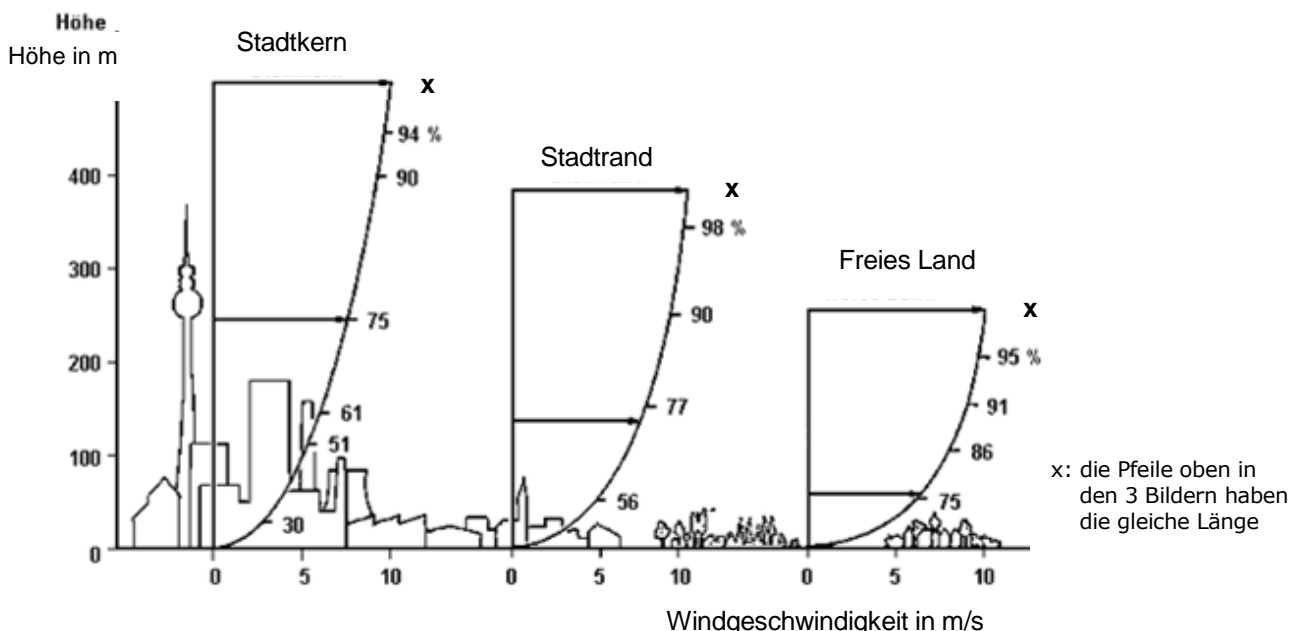


Bild 1 — Auswirkung der Rauigkeitsklasse des Bodens auf die Windgeschwindigkeit

In der Windindustrie verweisen Techniker häufig 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 Wasseroberfläche in die Rauigkeitsklasse 0 fällt. Betonstart- und -Landebahnen auf Flughäfen fallen unter Rauigkeitsklasse 0,5. **Die Werte des Wetteramtes und die Berechnungen der Windgeschwindigkeit beziehen sich auf Rauigkeitsklasse 2.** Bei niedrigeren Rauigkeitsklassen ist zu berücksichtigen, dass die Windgeschwindigkeit am Einsatzort höher ist (siehe vorstehende Abbildung) als die von der Wetterstation vorgegebenen Zahlen!

Höhenabhängige Windgeschwindigkeit

Zur Berechnung der voraussichtlichen Windgeschwindigkeit am höchsten Punkt des Auslegers kommt die Tabelle in Anlage 3 zur Anwendung.

Beispiel:

Sie erhalten (z. B. von der nächsten Wetterstation) die Angabe einer Windgeschwindigkeit von 6,2 m/s bei 10 Metern über dem Bodenniveau, berechnet über 10 Minuten. Dies entspricht laut Beaufort-Tabelle (siehe Anlage 6) einer Windgeschwindigkeit mit einem Beaufort-Wert von 4. Sie verfügen über eine maximale Hubhöhe von z. B. 50 Metern. Nun kann die 3-Sekunden-Böengeschwindigkeit mit Hilfe der Tabelle in Anlage 3 ausgelesen werden. Sie beträgt 13 m/s. Da sie die maximal zulässige Windstoßgeschwindigkeit von 9 m/s laut Traglasttabelle überschreitet, darf der Lasthub nicht durchgeführt werden.

4. Planung des Hubbetriebs und Ermittlung der zulässigen Windgeschwindigkeit

Die folgenden Werte müssen vor dem Hubeinsatz bekannt sein oder in Erfahrung gebracht werden:

- Das **Gewicht der Hublast** (m)
- Die **maximale Projektionsfläche** (A_p) der Last (siehe unten)
- Der **Strömungswiderstandskoeffizient** (c_w)
- Die vorhergesagte 3-Sekunden-**Böengeschwindigkeit** (v_{act}) am höchsten Punkt des Auslegersystems

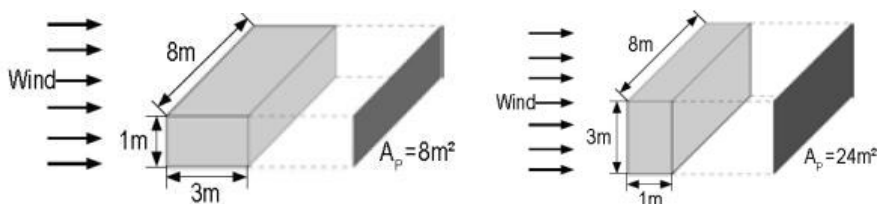


Bild 2 — Berechnung von A_p



Die in den Traglasttabellen und Bedienungsanleitungen des Herstellers angegebenen Vorgehensweisen und Sicherheitshinweise zu Windverhältnissen müssen genau beachtet

und eingehalten werden, um Unfälle zu verhindern. Planung und Einsatz dürfen nur durch ausgebildete und qualifizierte Mitarbeiter erfolgen.

Jeder Hubvorgang muss unter Berücksichtigung der Umweltgegebenheiten geplant werden (z. B. meteorologische Daten einschl. Wettervorhersagen, jeweilige Umgebungsbedingungen).

- Basis für die Bestimmung der Windgeschwindigkeit ist der erwartete Windstoß (3-Sekunden-Böe) am höchsten Punkt des Auslegersystems.
- Bei dieser Planung müssen die Hublast, ihre geometrische Form und ihr Strömungswiderstandskoeffizient ebenfalls berücksichtigt werden.

Ein vereinfachtes Berechnungsverfahren (siehe nachstehendes Ablaufdiagramm) deckt alle Einzelfälle ab und ist daher als konservativ zu betrachten. Genaue Berechnungen können höhere zulässige Windgeschwindigkeiten ergeben; der Hersteller kann genaue Berechnungen zur Verfügung stellen.

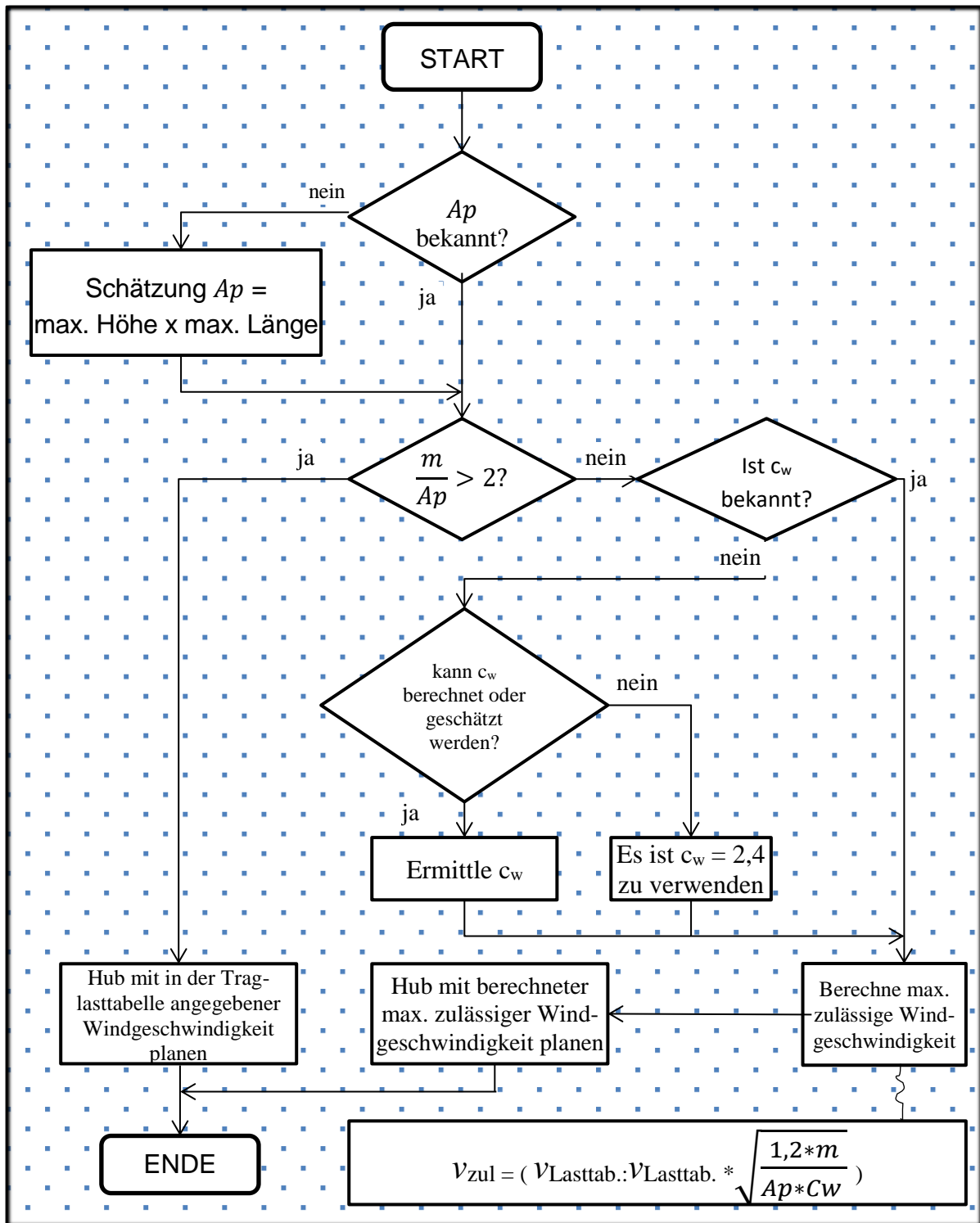


Bild 3 — Ablaufdiagramm zur Ermittlung der zulässigen Windgeschwindigkeit

Legende

- m – Hublast [t]
- A_p – Projektionsfläche [m²]
- c_w – Strömungswiderstandskoeffizient; Beispiele für Formen und entsprechende Strömungswiderstandskoeffizienten sind Anlage 5 zu entnehmen
- v_{zul} – max. zulässige Windgeschwindigkeit einer 3-Sekunden-Böe am höchsten Punkt des Auslegersystems [m/s]

Die zulässige Windgeschwindigkeit darf nicht höher sein als die Windgeschwindigkeit laut Traglasttabelle. [m/s]

- $v_{\text{Lasttab.}}$ – Windgeschwindigkeit laut Traglasttabelle [m/s]

Der in der Formel $\frac{m}{A_p} > 2$ genannte Faktor 2 bezieht sich auf das Verhältnis zwischen dem maximalen Strömungswiderstandskoeffizienten 2,4 und dem Standard-Strömungswiderstandskoeffizienten 1,2, der für die Lastannahme herangezogen wird.

Um eine schnelle und einfache Bestimmung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit zu ermöglichen (große Formel im vorstehenden Ablaufdiagramm), kann ein Windkraftdiagramm ("Windgeschwindigkeitsverminderungsdiagramm") zur Verfügung gestellt werden (siehe nachfolgendes Beispiel). Die beiden folgenden Beispiele zeigen die Anwendung von derartigen Diagrammen. Dieselben Ergebnisse können mit Hilfe der Formel im Ablaufdiagramm zur Berechnung der zulässigen Windgeschwindigkeit ermittelt werden.

Beispiel 1 zur Bestimmung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit (gepunktete Linie im Windkraftdiagramm, siehe unten):

Eine Last mit einem Gewicht von 85 t hat einen c_w -Wert von 1,2 und eine Projektionsfläche von 50 m². Mit einem Strömungswiderstandskoeffizienten c_w von 1,2 und einer Projektionsfläche von 50 m² erhält man eine Windangriffsfläche von 60 m² (A_{w1}). In diesem Beispiel ist laut Traglasttabelle eine maximale Windgeschwindigkeit von 9 m/s zulässig. Daher muss das Windkraftdiagramm mit dem Wert 9 m/s herangezogen werden. Nun ist eine senkrechte Linie nach oben zum Windangriffsflächenwert von 60 m² im Windkraftdiagramm 9,0 m/s zu ziehen. Eine horizontale Linie ist nach rechts zur Hublast von 85 t zu ziehen. Die beiden Linien schneiden sich vor dem Gradienten 9 m/s.

- ⇒ Die maximal zulässige Windgeschwindigkeit für diesen Lastfall bleibt beim Wert 9 m/s, wie in der Traglasttabelle angegeben.

Beispiel 2 zur Bestimmung der maximal zulässigen Windgeschwindigkeit (durchgezogene Linie im Windkraftdiagramm, siehe unten):

Die Hublast hat ein Gewicht von 50 t, einen c_w -Wert von 1,3 und eine Projektionsfläche von 77 m², woraus sich eine Windangriffsfläche von $77 \cdot 1,3 = 100$ m² (A_{w2}) ergibt. Wenn die Windangriffsfläche durch die Last dividiert wird, ergibt sich ein Wert von 2 m² pro t. Dieser Wert überschreitet den für die Windangriffsfläche der Last zulässigen Wert von 1,2 m² pro t. Laut der Traglasttabelle ist hier wiederum eine maximale Windgeschwindigkeit von 9 m/s zulässig (bei einer dazugehörigen Windangriffsfläche von 1,2 m² pro t). Nun ist mit Hilfe des Windkraftdiagramms die maximal zulässige Windgeschwindigkeit bei 7 m/s zu ermitteln.

- ⇒ Die maximal zulässige Windgeschwindigkeit beim Heben dieser Last muss auf 7 m/s reduziert werden, verglichen mit den in der Traglasttabelle angegebenen 9 m/s.

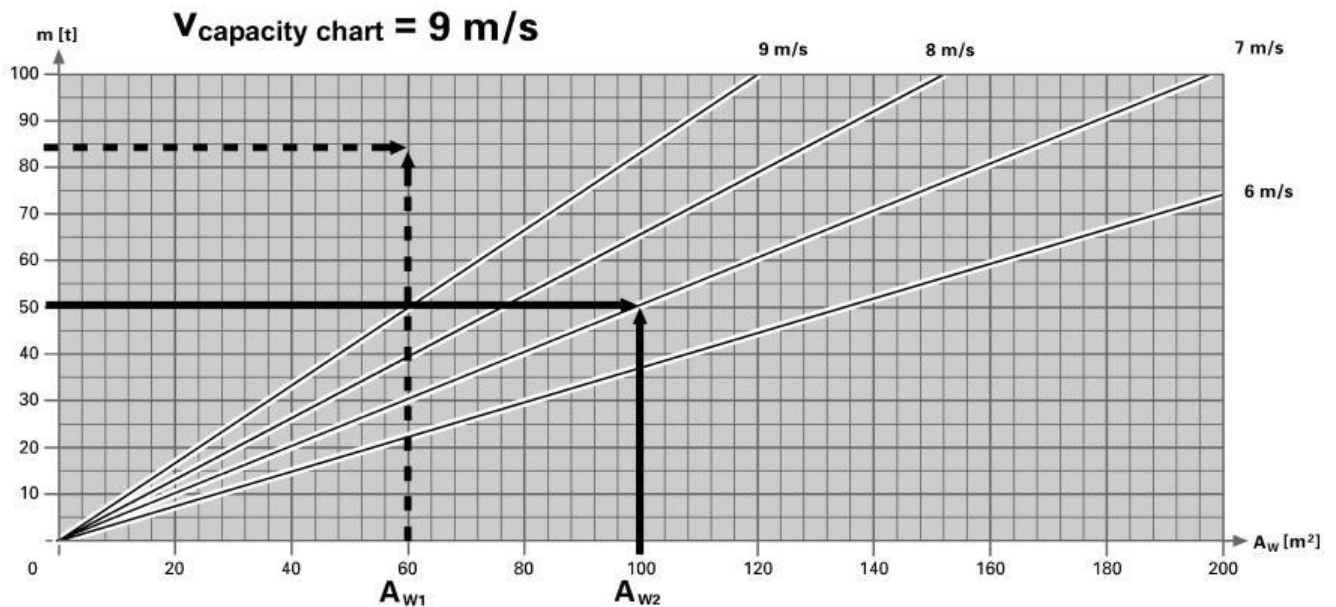


Bild 4 — Windkraftdiagramm ("Windgeschwindigkeitsverminderungsdiagramm")

Legende

$A_w = A_p * c_w$

A_w - Windangriffsfläche (m²)



Die ermittelte maximal zulässige Windgeschwindigkeit von 7 m/s aus Beispiel 2 ist im Computersystem eines Fahrzeugkrans nicht programmiert. Es erfolgt keine Warnung, wenn die ermittelte maximal zulässige Windgeschwindigkeit von 7 m/s überschritten wird. Daher muss der Kranbediener selbst den Windgeschwindigkeitswert im Computersystem überwachen.



Wenn die ermittelte maximal zulässige Windgeschwindigkeit erreicht oder überschritten wird, muss die Last möglichst schnell wieder auf dem Boden aufgesetzt werden. Da es häufig sehr schwierig oder sogar unmöglich ist, eine bereits schwebende Last wieder auf dem Boden abzusetzen, ist es für einen sicheren Hubvorgang äußerst wichtig, dass die während der gesamten Dauer des Hubvorgangs herrschenden Windbedingungen bereits im Vorfeld bekannt sind (einschließlich Auf- und Abrüsten (siehe Kapitel 5)); dies ist z. B. möglich durch Einholen einer detaillierten Wettervorhersage.

Kran vor dem Hubbetrieb im unbelasteten Zustand um 360° drehen und die mit dem Anemometer gemessene und in der Kabine des Fahrzeugkrans angezeigte Windgeschwindigkeit beobachten. Da sich das Anemometer im Windschatten der Windkraftanlage oder der Krankonstruktion befinden kann, kann sich die maximale Windgeschwindigkeit beim Drehen des Kranes verändern.

Diese Windkraftdiagramme können für jede in den Taglasttabellen angegebene Windgeschwindigkeit vom Hersteller des Fahrzeugkrans zur Verfügung gestellt werden; ohne ein derartiges Diagramm ergibt die Berechnung laut dem vorstehend aufgeführten Ablaufdiagramm dieselben Werte.

5. Windauswirkungen beim Auf-/Abrüsten von Auslegersystemen

Der Bediener muss die Anweisungen und Informationen des Herstellers über die Windauswirkungen beim Auf-/Abrüsten der Auslegersysteme berücksichtigen.

- Die max. zulässige Windgeschwindigkeit der entsprechenden Krankonfiguration zum Auf-/Abrüsten von Auslegersystemen ist in der Bedienungsanleitung angegeben. Jedes Aufrüsten des Krans oder Abrüsten von Auslegersystemen muss unter Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen geplant werden (z. B. meteorologischer Daten einschl. Wettervorhersagen, jeweilige Umgebungsbedingungen) für die Dauer aller Phasen
- Während des Aufrüstens der Auslegersysteme können die Abstützlasten oder Bodendrücke unter Raupenkettensystemen höher sein als im Betrieb!

6. Außerbetriebnahme des Krans aufgrund der Windverhältnisse (Abstellen des Krans)

Ein Fahrzeugkran darf nur mit Last innerhalb der zulässigen in den Traglasttabellen angegebenen (entsprechende Windangriffsfläche kleiner/gleich $1,2 \text{ m}^2$ pro t) oder durch eine andere Berechnung ermittelten (entsprechende Windangriffsfläche größer als $1,2 \text{ m}^2$ pro t) Windgeschwindigkeiten (3-Sekunden-Böe) betrieben werden (siehe Kapitel 4). Bei zunehmender Windgeschwindigkeit muss der Kran in eine sichere Position gebracht werden, indem entweder der Ausleger abgelegt oder in Abstellposition gebracht wird. Diese vom Hersteller angegebene Abstellposition stellt eine optimierte Position dar, in der die Maschine hohen Windgeschwindigkeiten standhalten kann. Die zulässigen Windgeschwindigkeiten für die Außerbetriebnahme des Kranes werden vom Hersteller angegeben.

Beim Ablegen des Auslegers oder Verbringen in Abstellposition kann der Kran Positionen durchlaufen, in denen er stärkerer Windeinwirkung ausgesetzt ist; daher muss der Ausleger rechtzeitig abgelegt oder in Abstellposition gebracht werden, so dass die vom Hersteller für Ab-/Aufrüsten angegebene zulässige Windgeschwindigkeit nicht überschritten wird.

Insbesondere bei langen Auslegersystemen ($>120 \text{ m}$) erhöhen die auf das Auslegersystem wirkenden Windkräfte und die Elastizität des Auslegersystems die auf die Abstützungen eines abgestützten Krans wirkenden Kräfte oder erhöhen den Bodendruck unter einem Raupenkran. Die Abstützlasten oder Bodendrücke können höher sein als im Betrieb! Diese Erhöhung der Abstützlasten oder Bodendrücke kann nur vom Kranhersteller berechnet werden, da die Windkräfte und die Elastizität des Auslegersystems berücksichtigt werden müssen.

7. Abstützlasten und Bodendrücke

Abstützlasten und Bodendrücke von Raupenkettensystemen unter Fahrzeugkränen, die mit einem typischen Einsatzplanungs-Tool berechnet werden, berücksichtigen nicht

- die elastische Verformung des Krans,
- die zulässige Neigung des Krans,
- die auf Ausleger und Last einwirkenden Windbelastungen,
- die Zusatzbelastung durch dynamische Kräfte (Kranbewegungen),
- die Wechselwirkungen zwischen der Kranlast auf die Abstützteller oder Raupenkettensystemen und dem Boden.

Die Weiterentwicklung von Kranen und die erhöhten Anforderungen beim Betrieb auf Aufstellungsorten in den letzten Jahren, wie z. B.

- die Verwendung von hochfesten Stählen mit höherer Elastizität
- eine größere Systemlänge
- Leichtbauweise
- häufigere Hubvorgänge mit größeren Windangriffsflächen und höhere c_w -Werte
- der Einsatz an Aufstellungsorten mit höheren Windgeschwindigkeiten führt zu einer höheren elastischen Verformung des Krans. Dies führt zu höheren Abstützlasten / Bodendrücken unter den Raupenkettten.

Für die für Fahrzeugkrane mit Abstützungen geltenden Faktoren ist die folgende Faustregel anzuwenden: Die Abstützlasten eines Fahrzeugkrans, die mit Einsatzplanungs-Tools berechnet werden, müssen um die folgenden Faktoren erhöht werden:



Beim Heben von Turmsektionen oder der Gondel: 1,2



Beim Heben eines Rotorblattes oder einer kompletten Rotorbaugruppe: 1,35



Die Erhöhung der Abstützlasten eines Fahrzeugkrans in einem Betriebsmodus mit zusätzlichem Gegengewicht, d. h. Derrick / Superlift (Personenarbeitsbühne) / bewegliches Gegengewicht kann erheblich über den vorgenannten Faktoren liegen.

Dies sollte bei der Auswahl der geeigneten Abstützplatten unter den Kranabstützungen berücksichtigt werden.

Beim Einsatz von Raupenkränen ist die Erhöhung der Bodendrücke abhängig von den Abmessungen der Raupenkettten und der Krankonfiguration (z. B. Einsatz mit Derrick / Superlift, Spitzenausleger). Die Erhöhungsfaktoren können höher sein als bei Kranen auf Abstützungen. Nur der Kranhersteller kann die Erhöhungsfaktoren in Kenntnis der Kran-Fabriknummer, der Auslegerkonfiguration, der Gegengewichtskonfiguration, der Last mit Ausladung und Windangriffsfläche (einschl. Strömungswiderstandskoeffizient) berechnen.

8. Risiken für Fahrzeugkrane bei Reparaturen an Windkraftanlagen

Für Reparaturen, z. B. den Austausch von Rotorblättern oder des kompletten Rotors, kommt normalerweise ein kleinerer Kran zum Einsatz als beim Aufstellen der Windkraftanlage, wobei die Größe des Krans auf das Gewicht der schweren Gondel abgestellt war. Daher kann es geschehen, dass der zu Wartungszwecken verwendete Kran beim Heben bis an die Grenzen seiner Nenntagfähigkeit gelangt und durch zusätzliche Windbelastung, die bei der Planung nicht berücksichtigt wurde, überlastet wird.

Beim Abnehmen von Komponenten der Windkraftanlage muss sichergestellt werden, dass das Windenseil beim Heben der leeren Hakenflasche straff auf der Windentrommel aufgespult ist, um

zu vermeiden, dass das Windenseil in das lockere Seilpaket auf der Winde einschneidet. Dies kann durch Einsatz einer schwereren Hakenflasche oder zusätzlichen Last verhindert werden.

9. Zufahrtsstraßen

9.1 Vorbereitung

Häufig werden Fahrzeugkrane wegen Zeitknappheit in halb aufgerüstetem Zustand von einem Einsatzort zum nächsten Einsatzort auf der Baustelle verfahren. Dazu ist eine Reihe von Sicherheitsmaßnahmen erforderlich, z. B.:

Tragfähigkeit

Die Zufahrtsstraßen müssen die Achslasten / Bodendrucke der Raupenkette des halb aufgerüsteten Krans aufnehmen können. Beim Verfahren auf Zufahrtsstraßen mit Superlift-Ausrüstung und/oder dem Grundaussteigerteil für die Wippspitze bzw. Teilen des Gegengewichts könnte die Achslast auf bis zu 25 t oder darüber steigen. Der für den Bau der Zufahrtsstraßen verantwortliche Bauunternehmer muss über diese höheren Achslasten / Oberflächendrucke der Raupenkette in vollem Umfang informiert sein.



Die Zufahrtsstraßen müssen so ausgelegt sein, dass sie den Kran in seinem spezifischen Rüstzustand, in dem er zum Einsatzort verbracht wird, aufnehmen können, und nicht nur im Straßenfahrzeugzustand oder mit einer normalen Achslast oder einem normalen Oberflächendruck der Raupenkette.



Zufahrtsstraßen für All-Terrain-Krane und Aufbaukrane: Bitte beachten Sie, dass ein normal belasteter Reifen eines Krans mit einer Achslast von 12 t bei einem Nenn-Reifendruck von 10 bar einer Punktbelastung unter dem Reifen von 100 t/m² entspricht!

Querneigung oder Krümmung von Zufahrtsstraßen, Neigung von Zufahrtsstraßen

Die Krümmung (oder Querneigung) der Straße und die Neigung der Straße darf die vom Kranhersteller vorgegebenen Grenzwerte nicht überschreiten.



Die Straße muss so ausgelegt sein, dass sie den Kran in seinem spezifischen Rüstzustand, in dem er am Einsatzort verfahren wird, aufnehmen kann.



Je nach Querneigung der Straße und Elastizität der Reifen gelten für die rechte und linke Kranseite unterschiedliche Radlasten! Es muss sichergestellt sein, dass die Straße diese Last aufnehmen kann.



Zufahrtsstraßen für Raupenkrane: Wenn die äußere Breite der Raupenkette größer ist als die Auflagerbreite der Zufahrtsstraße, kann der Boden überlastet werden, da nur die Innenteile jeder Raupenkette die Last aufnehmen, so dass sich die Kettenplatten neigen. Dadurch kann der Kran zur Seite umkippen. Weiterhin haben die Laufrollen nur Punktkontakt mit den Kettenplatten, was den Verschleiß erhöht. Dies ist auch der Fall, wenn die Zufahrtsstraße einen konvexen Querschnitt aufweist, um Wasser abfließen zu lassen.

9.2 Kran in teilweise aufgerüstetem Zustand verfahren

Um Zeit beim Auf- und Abrüsten während des Betriebs an einer Anzahl Windturbinen in einem Windpark zu sparen, werden Krane häufig in (teilweise) aufgerüstetem Zustand verfahren. Auslegersysteme oder Teile von Auslegersystemen sowie Gegengewichte können auf dem Kran verbleiben und zusammen mit diesem verfahren werden.

Dies führt zu erhöhten Achslasten oder Bodendrücken unter den Raupenkettensystemen und der Kranschwerpunkt verschiebt sich nach oben. Verfahren unter diesen Bedingungen erfordert angemessene Planung und Vorbereitung. Der folgende Leitfaden führt eine Reihe von kritischen Problemen auf, aber die spezifischen Umstände an einer Baustelle können weitere Untersuchungen erfordern. Auf jeden Fall gelten die Bestimmungen, wie sie in der Bedienungsanleitung aufgeführt sind.

- Die Konfiguration des Fahrzeugkrans für Fahrbetrieb richtet sich nach den Vorgaben des Herstellers.
- Der Fahrweg kann die Achslasten oder den Bodendruck für die gewählte Konfiguration aufnehmen und bietet ausreichende Reserve für Lasterhöhung beim Verfahren (z. B. Querneigung des Fahrwegs, seitliches Pendeln des Krans während des Verfahrens usw.).
- Der Fahrweg wurde gründlich untersucht, um Unregelmäßigkeiten zu vermeiden (z. B. verborgene Mängel unter der Erdoberfläche durch frühere Einsätze, weiche Schichten unter der Straße zur Baustelle usw.).
- Neigungen des Fahrwegs in Fahrtrichtung und zur Seite liegen innerhalb der vom Hersteller festgelegten Grenzwerte.
- Abstützungen oder andere Hilfsmittel werden zur Unterstützung eingesetzt, wie vom Hersteller vorgeschrieben; sie erfüllen dieselbe Funktion wie Stützräder bei einem Kinderfahrrad (z. B. bei plötzlichem Verlust des Reifendrucks, einer seitlichen Bewegung aufgrund einer weichen Stelle in der Straße zur Baustelle), aber sie müssen auf vorbereitetem Boden aufliegen, um die Last aufnehmen zu können.
- Durch Verfahren mit (teilweise) aufgerüstetem Kran verlagert sich der Schwerpunkt, der beim Verfahren leicht einige Meter - auf jeden Fall erheblich - über dem Straßenniveau zu liegen kommen kann. Durch eine Neigung beim Verfahren zur Baustelle verschiebt sich diese Situation weiter zur entsprechenden Kippkante, wobei die Belastung unter den Reifen oder der Raupenkette deutlich zunimmt.
 - Bei einem Fahrzeugkran mit hydropneumatischer Federung stellen die Federungszyylinder die Kippkante dar, nicht die Reifen!
 - Bei einem Fahrzeugkran auf Raupenfahrwerken wird die Lastverteilung unter den Raupenkettensystemen zunehmend ungleichmäßig und führt evtl. zu stärkerer Neigung.
- Während der Fahrt müssen plötzliche Bewegungen vermieden werden, da sie den Kran ins Schaukeln bringen können.

10. Schlussbemerkung

Beim Kranbetrieb unter windigen Witterungsbedingungen und insbesondere beim Heben von großflächigen Lasten muss die Windeinwirkung definitiv beachtet werden. Vor Arbeitsbeginn muss der Kranführer die voraussichtliche maximale Windgeschwindigkeit am Standort durch Rücksprache mit der entsprechenden Wetterstation ermitteln. Der Hubvorgang ist unzulässig, wenn die erwarteten Windgeschwindigkeiten die maximalen für die entsprechende Last bei der Einsatzplanung berechneten Windgeschwindigkeiten überschreiten. Wenn sich die

Windgeschwindigkeit unmittelbar vor dem Hubvorgang zu Windstößen entwickelt, besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass in naher Zukunft unerwartete Böen auftreten. Die prognostizierten Wetterdaten sind im Internet (z. B. <http://www.windfinder.com>) unter dem Titel "Super Forecast") abrufbar. Bitte beachten Sie jedoch, dass die angegebene Böengeschwindigkeit nur auf eine Höhe von 10 Metern über Bodenniveau bezogen ist.

Vor allem beim Heben von Lasten mit relativ geringem Gewicht und großer Windangriffsfläche wirkt sich die Windbelastung erheblich auf die Traglast des Kranes aus. Die effektive Windangriffsfläche der Last, die zu berücksichtigen ist, ist das Produkt der Projektionsfläche multipliziert mit dem Faktor c_w (Strömungswiderstandskoeffizient - Formkoeffizient der Last). Die Angriffsfläche und der Faktor c_w müssen allen an der Planung des Hubeinsatzes beteiligten Personen bekannt sein.



Hubeinsatz ohne Berücksichtigung der voraussichtlichen Windkräfte und der aktuellen Windangriffsfläche der Last kann zu Ausfall von Komponenten und Umkippen des Kranes führen!



Bei Nichtbeachtung der Windauswirkungen am Einsatzort besteht Lebensgefahr.

Anlage 1: Theoretischer Hintergrund

(Weitere Informationen sind EN 13000:2010+A1:2014 zu entnehmen)

Begriffsbestimmungen

- N** Newton (Maßeinheit für Kraft)
- c_w** Windwiderstandsbeiwert (Strömungswiderstandskoeffizient)
- v_{\max}** maximal zulässige Geschwindigkeit von 3-Sekunden-Böen (m/s) am höchsten Punkt des Auslegersystems.
- \bar{v}** Windgeschwindigkeit ermittelt über 10 Min. v [m/s] auf 10 m über Bodenniveau oder dem Meeresspiegel
- $v(z)$** Über einen Zeitraum von 3 Sekunden gebildeter Mittelwert der Windgeschwindigkeit in einer Höhe z über dem Boden (m/s).
- z** Höhe über Bodenniveau
- .
- $q(z)$** **Quasistatischer Staudruck [N/m²], der in einer Höhe z wirkt und berechnet wird basierend auf $v(z)$, siehe auch Anlage 4.**

Windgeschwindigkeiten und -Drücke

Zur Berechnung der Windbelastungen wird angenommen, dass der Wind horizontal aus der ungünstigsten Richtung bläst, jedoch mit einer höhenabhängigen Geschwindigkeit (10m über Bodenniveau). Die Geschwindigkeit einer 3-Sekunden-Böe $v(z)$ [m/s], die auf einen erhöhten Punkt z [m] einwirkt und maßgeblich für die Berechnungen ist, beruht auf einer mittleren Windgeschwindigkeit, die ermittelt wird über einen Zeitraum von 10 Min. \bar{v} [m/s] auf 10 m über dem Boden oder Meeresspiegel.

$$v(z) = \left[\left(\frac{z}{10} \right)^{0,14} + 0,4 \right] \cdot \bar{v}$$

bei $z = 10[m] \Rightarrow v(z) = 1,4 \cdot \bar{v}$ **siehe Anlage 3**

Der quasistatische Staudruck q [N/m²] ist das Ergebnis von:

$$q = 0,625 \cdot v(z)^2$$

bei $z = 10[m] \Rightarrow q(z) = 1,225 \cdot \bar{v}^2$ **siehe Anlage 4**

Die zulässige Windgeschwindigkeit für Krane im Betrieb und außer Betrieb wird abgeleitet von der Böengeschwindigkeit $v(z)$, die am höchsten erhöhten Punkt wirkt, der für die Nachweise berücksichtigt wird.

Anlage 2: Leitfaden zu Anemometern / Windgeschwindigkeitsanzeigern bei Fahrzeugkränen

Normenanforderungen

Die Krannorm EN13000 erfordert die Anzeige von Windgeschwindigkeiten an Fahrzeugkränen, wenn der Kran eine kombinierte Auslegerlänge von über 65 m aufweist oder wenn die Ablegezeit mehr als 5 Minuten dauert.

EN13000 lautet weiterhin „... *Um Gefahren - insbesondere aufgrund von plötzlich wechselnden Windgeschwindigkeiten oder -Richtungen bei vorbeiziehenden Wetterfronten - zu vermeiden, sollten für die Planung von Hubeinsätzen Wetterberichte beachtet werden...*“

Erfassung der Windgeschwindigkeiten im Betriebs- und im Außerbetriebzustand

Normalerweise ist die Erfassung der Windgeschwindigkeit mittels Anemometern nur möglich, wenn die Kransteuerung EIN-geschaltet ist; in AUS-geschaltetem Zustand der Steuerelemente steht kein Signal zur Verfügung.

Kalibrieren und Neukalibrieren

Die Genauigkeit des Anemometers wird vom Lieferanten des Anemometers vor dem Inverkehrbringen der Ausrüstung kalibriert; der Benutzer muss durch regelmäßige Kontrollen - mindestens einmal jährlich - durch Sichtprüfung (auf Beschädigung) und Funktionstest (Anemometer leichtgängig ohne beobachteten Widerstand und Anzeige korrekt/plausibel) gewährleisten, dass kein Bedarf für regelmäßiges (z. B. jährliches) Neukalibrieren des Anemometers besteht, sofern der Funktionstest keine entsprechenden Befunde ergibt.

Genauigkeit

Die an Fahrzeugkränen eingesetzten Anemometer werden von verschiedenen Herstellern geliefert. Die nachstehende Abbildung zeigt ein typisches Beispiel für einen derartigen Sensor.



Abbildung 5: Anemometer (Windmesser)

Die Sensoren weisen eine typische Genauigkeit von gleich oder besser als +/- 3% des Messwertes auf, was eine typische Genauigkeit von 0,5 m/s ergibt. Das Windgeschwindigkeitssignal eines derartigen Sensors wird am aktiven Leitstand angezeigt.

Das Anemometer kann an einem (ausziehbaren) Stab am Auslegerkopf angebaut sein, um eine größere Höhe über dem Auslegerkopf zu erreichen, aber die Stablänge ist begrenzt, um Kollisionen beim Heben zu vermeiden. Häufig wird der Windstrom durch Auslegerteile oder andere Hindernisse in der Umgebung des Krans gestört; die genaue Messung der Windgeschwindigkeit wird durch den Sog dieser Objekte beeinträchtigt!

Die vom Anemometer angezeigte Windgeschwindigkeit stellt als solche die tatsächliche Windgeschwindigkeit (innerhalb der Sensorauflösung) zuzüglich der von Sogeffekten verursachten Toleranzen dar.

Selbst bei einem höhenverstellbaren Stab des Anemometers können einige Störungen oder Abschirmungen aufgrund der benachbarten Auslegerteile die erkannte Windgeschwindigkeit beeinträchtigen. Daher ist die gemessene Windgeschwindigkeit niedriger als der im Datenblatt des Herstellers angegebene Wert und abhängig von der Auslegerrichtung und dem Rüstzustand des Krans.

Zusammenfassung

1. Die Erkennung der Windgeschwindigkeit mit dem Anemometer ist nur aktiv, wenn die Kransteuerung EIN-geschaltet ist.
2. Messungen der Windgeschwindigkeit am Kran stellen nur den tatsächlichen Windgeschwindigkeitswert als Arbeitshilfe dar.
3. Jeder Hubvorgang muss unter Berücksichtigung der Umweltgegebenheiten geplant werden (z. B. meteorologische Daten einschl. Wettervorhersage, jeweilige Umgebungsbedingungen), siehe EN13000:2014, Kapitel 6.2.2.4.
4. Die gemessenen Windgeschwindigkeitswerte werden von Auslegerteilen des Krans oder Objekten in der Umgebung beeinflusst, die die theoretische Genauigkeit des Anemometers erheblich beeinflussen.
5. Die regelmäßigen Kontrollen von Anemometern erfordern nur eine Sichtprüfung und einen Funktionstest.

Anlage 3: Windgeschwindigkeit als Funktion der Höhe über Grund

Tabellen 1 - 3-Sekunden-Böenwindgeschwindigkeit als Funktion der Windgeschwindigkeit nach der Beaufort-Skala und als Funktion der Höhe über Grund

Beaufort Wert	3	4	5 ^a	5 ^b	6	7 ^a	7 ^b	8	9	10
\bar{v} [m/s] ^b	5,4	7,9	10,1	10,7	13,8	14,3	17,1	20,7	24,4	28,4
z [m]	$v(z)$ [m/s]									
10	8	11	14	15	19	20	24	29	34	40
20	8	12	15	16	21	22	26	31	37	43
30	9	12	16	17	22	22	27	32	38	45
40	9	13	16	17	22	23	28	33	39	46
50	9	13	17	18	23	24	28	34	40	47
60	9	13	17	18	23	24	29	35	41	48
70	9	14	17	18	24	25	29	36	42	49
80	9	14	18	19	24	25	30	36	42	49
90	10	14	18	19	24	25	30	36	43	50
100	10	14	18	19	25	25	30	37	43	51
110	10	14	18	19	25	26	31	37	44	51
120	10	14	18	19	25	26	31	38	44	52
130	10	15	19	20	25	26	31	38	45	52
140	10	15	19	20	26	26	32	38	45	53
150	10	15	19	20	26	27	32	39	45	53
160	10	15	19	20	26	27	32	39	46	53
170	10	15	19	20	26	27	32	39	46	54
180	10	15	19	20	26	27	33	39	46	54
190	10	15	19	20	26	27	33	40	47	54
200	10	15	19	21	27	27	33	40	47	55

^a Wind im Betrieb:
 1 leicht $\bar{v} = 10$ [m/s] \Rightarrow bei $z = 10$ [m] $\Rightarrow q(z) = 125$ [N/m²]
 2 normal $\bar{v} = 14$ [m/s] \Rightarrow bei $z = 10$ [m] $\Rightarrow q(z) = 250$ [N/m²]

^b Oberer Beaufort-Grenzwert

Legende

- \bar{v} [m/s]: Mittlere Windgeschwindigkeit auf 10 m Höhe (oberer Grenzwert der Beaufort-Skala) ermittelt über 10 Min.
- z [m]: Höhe über ebenem Grund.
- $v(z)$ [m/s]: 3-Sekunden-Böenwindgeschwindigkeit wirkend in der Höhe z und bestimmend für die Berechnung.
- $q(z)$ [N/m²]: Quasistatischer Staudruck wirkend in der Höhe z und basierend auf $v(z)$, siehe Anlage 4.

Anlage 4: Staudruck als Funktion der Höhe über Grund

Tabelle 2 - Quasistatischer Staudruck als Funktion der Windgeschwindigkeit nach der Beaufort-Skala und als Funktion der Höhe über Grund

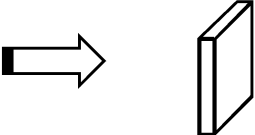
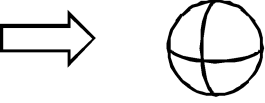
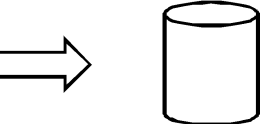
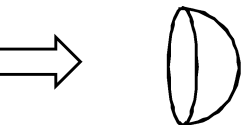
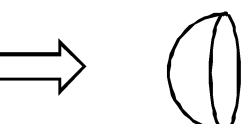

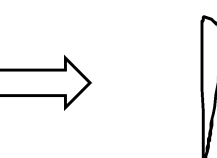
Beaufort Wert	3	4	5 ^a	5 ^b	6	7 ^a	7 ^b	8	9	10
\bar{v} [m/s] ^b	5,4	7,9	10,1	10,7	13,8	14,3	17,1	20,7	24,4	28,4
z [m]	$q(z)$ [N/m ²]									
10	36	77	125	140	233	250	358	525	729	988
20	41	88	144	161	269	288	412	604	839	1137
30	45	96	156	176	292	313	448	657	913	1237
40	46	102	166	186	310	332	476	698	970	1314
50	50	107	174	196	325	348	499	732	1016	1377
60	52	111	181	203	338	362	519	761	1057	1431
70	54	115	187	210	349	374	536	786	1092	1480
80	55	117	193	216	360	385	552	809	1124	1523
90	57	121	198	222	369	395	566	830	1153	1562
100	58	124	202	227	377	404	579	849	1180	1598
110	59	126	206	232	385	413	591	867	1204	1632
120	60	129	210	236	393	421	603	883	1227	1663
130	61	131	214	240	400	428	613	899	1249	1692
140	62	133	218	244	406	435	623	914	1269	1720
150	63	135	221	248	412	442	633	928	1289	1746
160	64	137	224	251	418	448	642	941	1307	1771
170	65	139	227	255	424	454	651	953	1325	1795
180	66	141	230	258	429	460	659	966	1342	1818
190	67	142	233	261	434	465	667	977	1358	1839
200	67	144	235	264	439	471	675	988	1373	1860
<p>^a Wind im Betrieb:</p> <p>1 leicht $\bar{v} = 10,1$ [m/s] \Rightarrow bei $z = 10$ [m] $\Rightarrow q(z) = 125$ [N/m²]</p> <p>2 normal $\bar{v} = 14,3$ [m/s] \Rightarrow bei $z = 10$ [m] $\Rightarrow q(z) = 250$ [N/m²]</p> <p>^b Oberer Beaufort-Grenzwert</p>										

Legende

- \bar{v} [m/s]: Mittlere Windgeschwindigkeit auf 10 m Höhe (oberer Grenzwert der Beaufort-Skala) ermittelt über 10 Min.
- z [m]: Höhe über ebenem Grund.
- $v(z)$ [m/s]: 3-Sekunden-Böenwindgeschwindigkeit wirkend in der Höhe z und bestimmend für die Berechnung, siehe Anlage 3.
- $q(z)$ [N/m²]: Quasistatischer Staudruck wirkend in der Höhe z und basierend auf $v(z)$.

Anlage 5: Typische Körperformen

Tabelle 3 - Tabelle mit typischen Körperformen und dazugehörigen Windwiderstandsbeiwerten C_w

Körperform	Widerstandsbeiwert C_w	Bemerkung
	1,1 bis 2,0	
	0,3 bis 0,4	
	0,6 bis 1,0	
	0,8 bis 1,2	
	0,2 bis 0,3	
	0,05 bis 0,3	Rotorblätter
	Ca. 1,6	Rotorblätter

Die Strömungswiderstandskoeffizienten der Lasten sind für die Berechnung der Spezifikation der (Rotorblatt-) Hersteller zu entnehmen; wenn diese nicht zur Verfügung stehen, geben die Werte von Tabelle 3 einen Anhaltspunkt.

Anlage 6: Beaufort-Werte

Tabelle 4 — Beaufort-Skala

Windgeschwindigkeit		Windgeschwindigkeit (Durchschnittswert über 10 Minuten)		Auswirkungen des Windes im Binnenland
Beaufort- Skala	Bezeichnung	m/s	km/h	
0	Windstille	0 bis 0,2	1	Windstille, Rauch steigt gerade empor.
1	Leiser Zug	0,3 bis 1,5	1 bis 5	Windrichtung angezeigt nur durch den Zug des Rauches, aber nicht durch Windfahne.
2	Leichte Brise	1,6 bis 3,3	6 bis 11	Wind am Gesicht spürbar; Blätter säuseln, Windfahne bewegt sich.
3	Schwache Brise	3,4 bis 5,4	12 bis 19	Blätter und dünne Zweige bewegen sich, Wind streckt einen Wimpel.
4	Mäßige Brise	5,5 bis 7,9	20 bis 28	Hebt Staub und loses Papier, bewegt Zweige und dünnere Äste.
5	Frische Brise	8,0 bis 10,7	29 bis 38	Kleine Laubbäume beginnen zu schwanken. Schaumköpfe bilden sich auf Seen.
6	Starker Wind	10,8 bis 13,8	39 bis 49	Starke Äste in Bewegung, Pfeifen in Telegrafleitungen, Regenschirme schwierig zu benutzen.
7	Steifer Wind	13,9 bis 17,1	50 bis 61	Ganze Bäume in Bewegung, fühlbare Hemmung beim Gehen gegen den Wind.
8	Stürmischer Wind	17,2 bis 20,7	62 bis 74	Bricht Zweige von den Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien.
9	Sturm	20,8 bis 24,4	75 bis 88	Kleinere Schäden an Häusern (Rauchhauben oder Dachziegel werden abgeworfen).
10	Schwerer Sturm	24,5 bis 28,4	89 bis 102	Entwurzelt Bäume, bedeutende Schäden an Häusern.
11	Orkanartiger Sturm	28,5 bis 32,6	103 bis 117	Verbreitete Sturmschäden
12	Orkan	ab 32,7	ab 118	Schwerste Verwüstungen

Anlage 7: Tragfähigkeitstabelle

Tabelle 5 — Beispiel einer Tragfähigkeitstabelle

	Kran mit 56 t Gegengewicht								
	Abstützbasis – Länge 18,000 m – Breite 18,000 m								
	Hauptausleger - feste Länge in m								
	35,33	35,33	35,33	40,15	40,15	40,15	44,98	44,98	44,98
Tel.Stufe 1	0,44	0,00	0,00	0,88	0,44	0,00	0,88	0,44	0,00
Tel.Stufe II	0,44	0,44	0,00	0,44	0,44	0,44	0,88	0,44	0,88
Tel.Stufe III	0,44	0,44	0,88	0,44	0,44	0,88	0,44	0,88	0,88
Tel.Stufe IV	0,44	0,88	0,88	0,44	0,88	0,88	0,44	0,88	0,88
Drehbereich	360°								
Ausladung in m	Traglast in t								
6,0	112,0	106,0	88,5						
7,0	112,0	100,0	81,5	90,0	92,0	82,5			
8,0	112,0	94,0	76,0	90,0	92,0	77,5	74,0	74,0	72,0
9,0	112,0	87,5	70,5	90,0	90,0	73,0	74,0	73,5	69,0
10,0	112,0	81,5	65,0	89,0	85,5	69,0	74,0	70,0	65,0
11,0	112,0	77,5	61,0	84,0	81,5	64,5	73,5	67,0	61,0
12,0	112,0	73,5	57,5	79,0	77,0	60,5	70,5	64,0	57,5
13,0	112,0	69,0	54,0	74,5	73,5	57,5	67,0	61,0	54,5
14,0	107,0	65,0	50,0	70,5	70,5	54,5	63,5	58,0	51,5
15,0	102,0	62,0	48,0	67,0	67,0	51,5	60,5	55,5	48,5
16,0	94,0	59,5	45,5	63,5	63,5	49,0	57,5	52,5	45,5
18,0	81,5	54,0	41,0	57,0	59,0	45,0	51,5	48,5	41,5
20,0	71,5	49,5	37,0	52,0	54,5	41,0	47,0	44,5	37,5
22,0	63,5	46,0	34,5	47,0	49,5	37,0	42,5	41,0	34,5
24,0	57,0	42,5	31,5	43,5	47,0	35,0	39,0	38,5	32,0
26,0	51,5	39,0	28,5	40,0	44,0	32,5	35,5	35,5	29,5
28,0	46,5	37,0	27,0	37,0	41,5	30,5	33,0	33,0	27,0
30,0	42,5	35,0	25,0	34,0	38,5	28,0	30,5	31,5	25,5
32,0	34,0	33,0	23,5	31,5	37,0	26,5	28,5	29,5	23,5
34,0				29,5	35,0	25,0	27,0	28,0	22,0
36,0				27,5	33,5	23,5	25,0	26,0	20,5
38,0							23,5	25,0	19,2
40,0							21,5	23,5	18,2
RCL-Code	1350								
Max. zulässige Windgeschwindigkeit	12 m/s								
	9 m/s	11 m/s	12 m/s	10 m/s	8 m/s	12 m/s	10 m/s	11 m/s	

Literaturverzeichnis

- [1] N0129 FEM/ ESTA Pressemitteilung – Mobile Cranes – Influence of wind forces during crane operation – Frankfurt 12. April 2010
- [2] Windeinflüsse bei Kranbetrieb, 2. Ausgabe 2011, Liebherr Werk Ehingen GmbH
- [3] Europäische Norm EN 13000:2010 Krane – Mobilkrane, einschließlich der vorläufigen Arbeit der CEN TC 147 WG11 für die nächste Ergänzung
- [4] 2006/42/EC – Richtlinie 2006/42/EC des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EC (Neufassung)
OJ No L 157, 9. Juni 2006

Referenzen

Erstellt vom Technischen Ausschuss der Produktgruppe Krane und Hebezeuge der Fédération Européenne de la Manutention (FEM)

Sekretariat: **Sekretariat FEM Produktgruppe Krane und Hebezeuge**
c/o VDMA
Materials Handling and Intralogistics
Lyoner Str. 18
D-60528 Frankfurt

Erhältlich vom Webserver der FEM (Verlag): <http://www.vdmashop.de/FEM/>

Für mehr Informationen bezüglich der FEM, siehe FEM Website:

<http://www.fem-eur.com>