

# Kranauslegung zum Aufbau von Windkrafträdern

Liebherr ist der führende Hersteller von Fahrzeugkranen. Die Palette der All-Terrain-Mobilkrane reicht vom 2-achsigen 35 t-Kran bis zum Schwerlastkran mit 1.200 t Traglast und 9-achsigem Fahrgestell. Die Gittermastkrane auf Mobil- oder Raupenfahrwerken erreichen Traglasten bis 3.000 t. Damit verfügt Liebherr über eine umfangreiche Palette an Kranen, die nahezu alle Bedürfnisse abdecken kann. Mit universellen Auslegersystemen und umfangreicher Zusatzausrüstung sind sie auf den Baustellen in der ganzen Welt im Einsatz.

Die Liebherr-Werk Ehingen GmbH wurde im Jahr 1969 gegründet. Um die internationale Position als führender Anbieter von Mobil- und Raupenkranen zu festigen und weiter auszubauen, wurde in den vergangenen Jahren eine umfangreiche Betriebserweiterung realisiert. Heute verfügt das

Liebherr-Werk in Ehingen über ein Gesamtareal von 840.000 m<sup>2</sup>, davon sind 200.000 m<sup>2</sup> überdachte Fabrikationsfläche. Mit nahezu 3.000 Mitarbeitern werden hier die Krane entwickelt, gefertigt und getestet. Damit ist das Liebherr-Werk in Ehingen die modernste Fahrzeugkran-Fabrik der Welt.

## Montage von Windenergieanlagen

Die Nutzung der Windkraft ist seit Jahrhunderten bekannt. Während früher bei Windmühlen die mechanische Energie genutzt wurde, steht heute die Erzeugung elektrischer Energie im Vordergrund. In immer größerer Zahl werden Windkraftanlagen in allen Regionen der Welt aufgestellt. Es entstehen Windparks mit einer großen Anzahl von identischen Anlagen, zum Teil auch in schwer zugänglichem Gelände oder „Offshore“. Die Montage der verschiedensten Anlagentypen erfolgt dabei nahezu immer mit Mobil- oder Raupenkranen. Sie stellen die hohen Traglasten und die erforderlichen Hubhöhen zur Verfügung. Die Entwicklung immer leistungsstärkerer und damit schwererer Windenergieanlagen wird vorangetrieben und gleichzeitig nimmt die Höhe der Türme zu, auf denen die Anlagen betrieben werden. Dies führt zu erheblich gesteigerten Anforderungen an die Montagekrane. Sowohl große Teleskopkrane als auch Gittermastkrane aller Hubklassen werden heute für die unterschiedlichen Anlagentypen eingesetzt.

Diesen Entwicklungen begegnet Liebherr mit besonderen leistungsoptimierten Kran-konzepten und neuen Auslegersystemen, die auf die Bedürfnisse der Windindustrie ausgelegt sind. Bei der Auswahl eines Krantyps für die Montage einer spezifischen Windkraftanlage spielt neben der Traglast und der Hubhöhe auch der Aufwand und der Platzbedarf für den Auf- und Abbau bzw. das Umsetzen (in Windparks) des Montagekranes selbst eine entscheidende Rolle. Darauf ist bei der Konzeption von „Windkraftkranen“ besonders zu achten und hat z.B. zur Entwicklung spezieller Unterwagen mit Schmalspurraupe geführt.

## Randbedingungen bei der Kranauslegung

Die Berechnung von Mobil- und Raupen-



Bild 1: Raupenkran LR11350 bei der Montage einer 5 MW Anlage. Max. Last: Maschinenhaus 329t mit Hakenhöhe 129 m.

krane ist in diversen Normen (EN und ISO) geregelt. Darin sind sie als Montagekrane eingestuft, so dass die geforderten rein statischen Nachweise die Verwendung von schweißbaren hochfesten Feinkornbaustählen bis zu einer Streckgrenze von 1.100 N/mm<sup>2</sup> erlauben. Nur durch die Verwendung dieser Stähle sind Mobil- und Raupenkrane so leistungsfähig. Die Berech-

nung der Kranausleger muss bei den schlanken und langen Systemen der Krane durch geometrisch nichtlineare Berechnungen erfolgen. Die große Vielfalt der Rüstvarianten erfordert dabei eine sehr hohe Anzahl von Einzelberechnungen, um die maximal mögliche Traglast für jede Auslegerkonfiguration, jede Länge und jede Ausladung zu ermitteln. Eine spezielle Auslegung für Windkraftkrane gibt es nicht, alle Krane unterliegen den gleichen Berechnungsgrundlagen und gelten für definierte Randbedingungen (z.B. zulässige Windgeschwindigkeiten).

folgt eine differenzierte Modellierung für die unterschiedlichen Baugruppen des Krans. Für Ausleger von Teleskop- und Gitterkranen werden zunächst Balkenmodelle mit geometrisch nichtlinearem Verhalten eingesetzt. Andere Baugruppen wie Unterwagen oder Drehbühne oder diverse Einzelbauteile oder -baugruppen werden mit detaillierten Balken-, Schalen- und/oder

informationen. Spezielle Untersuchungen mit nichtlinearen Effekten wie große Verformungen oder plastisches Material zählen ebenso zu den täglich anfallenden Problemstellungen im ANSYS-Workbench-Umfeld. Damit große Modelle auch effektiv gelöst werden können, wurde ein Cluster installiert, der unter Verwendung des Remote

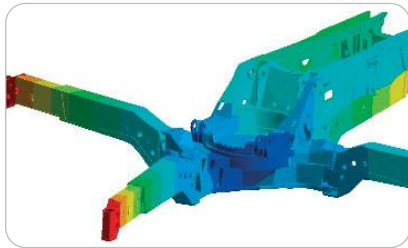


Bild 2: Verformungsuntersuchung an großer Unterwagen Baugruppe

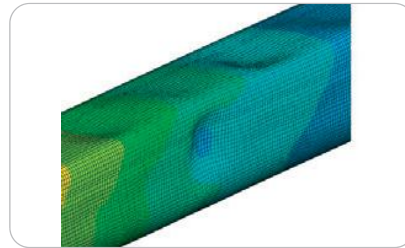


Bild 3: Beuluntersuchung am Teleskopausleger

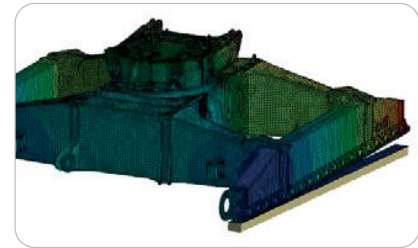


Bild 4: Raupenkranunterwagen

nung der Kranausleger muss bei den schlanken und langen Systemen der Krane durch geometrisch nichtlineare Berechnungen erfolgen. Die große Vielfalt der Rüstvarianten erfordert dabei eine sehr hohe Anzahl von Einzelberechnungen, um die maximal mögliche Traglast für jede Auslegerkonfiguration, jede Länge und jede Ausladung zu ermitteln. Eine spezielle Auslegung für Windkraftkrane gibt es nicht, alle Krane unterliegen den gleichen Berechnungsgrundlagen und gelten für definierte Randbedingungen (z.B. zulässige Windgeschwindigkeiten).

### FEM-Einsatz bei Liebherr

Umfangreiche Berechnungen sind seit Beginn der Mobil- und Raupenkranentwicklung bei Liebherr ein unverzichtbarer Bestandteil des Konstruktionsprozesses. Dabei spielte auch die Anwendung der Finite-Elemente-Methode (FEM) schon frühzeitig eine entscheidende Rolle, denn nur mit gewichtsoptimierten Strukturen kann ein leistungsfähiger Kran entwickelt werden. Seit 1989 ist ANSYS bei Liebherr das führende FEM-Programm-System für die Dimensionierung und Optimierung der Bauteile.

### FEM bei der Kranauslegung

Alle tragenden Bauteile werden mittels FEM berechnet und dabei optimiert, denn Leichtbau ist gefragt, da zulässige Transportgewichte, Abmessungen, Achslasten usw. und natürlich optimale Traglasten strenge Randbedingungen setzen. Bei der Simulation er-

Solidelementmodellen untersucht. Hier kommt ausschließlich ANSYS Workbench zum Einsatz, das bei Liebherr schon seit mehreren Jahren genutzt wird.

Die Schweißbaugruppen bestehen zum großen Teil aus Blechen unterschiedlicher Dicken bei gleichzeitig relativ großen Abmessungen. Hier bietet sich besonders die Nutzung von Schalenelementen an. Ausgehend vom eingesetzten CAD-System CoCreate Modeling (von PTC), für das eine Direktschnittstelle in ANSYS Workbench verfügbar ist, werden alle Geometriedaten in ANSYS Workbench DesignModeler aufbereitet. Insbesondere die Mittelflächengenerierung erfolgt bei Liebherr im DesignModeler. Bei der Nutzung von Schalenelementen entstehen moderate Modellgrößen, so dass auch größere Baugruppen zusammen berechnet werden können. Schalenelemente ermöglichen zudem in der Auslegungsphase eine schnelle Änderung der Blechdicken. Die Ermittlung der minimalen Blechdicken und die optimale Stufung der Bleche ist ein entscheidendes Ergebnis der FE-Berechnung.

Viele dieser Baugruppen sind durch Bolzen oder andere Verbindungselemente miteinander gekoppelt, oder berühren sich. Deshalb gehören Kontakte zu nahezu jedem Modell. ANSYS Workbench ermöglicht dem Benutzer die Handhabung der Kontakte mit geringem Aufwand und bietet zusätzlich leicht auswertbare Kontakt-

Solver Managers (RSM) und der Parallelsolver-Möglichkeiten von ANSYS die Lösung im Vergleich zu den lokalen Workstations deutlich beschleunigt. Das System arbeitet äußerst stabil und wird von den Benutzern sehr geschätzt.

### Spezialfall Beulen

Durch die Verwendung des hochfesten Stahls und die hohe statische Ausnutzung der Bauteile sind diese häufig beulgefährdet. Dies erfordert eine systematische Untersuchung der Bauteile auf Beulen. Häufig verwendet man hier die allseits bekannte Methode, erst eine lineare Beulrechnung durchzuführen und dann die imperfekte Struktur, gebildet aus den linearen Beulmoden einer nichtlinearen Berechnung mit großen Verformungen zu unterwerfen. Für diese Anwendung nutzt Liebherr einen von CADFEM entwickelten Wizard, der auf Workbench-Ebene diese Art der Berechnung unterstützt und für den Benutzer transparent umsetzt.

### ➡ | Autor und Ansprechpartner

#### Autor

Thomas Grathwohl  
Liebherr-Werk Ehingen GmbH  
[www.liebherr.com](http://www.liebherr.com)

#### Ansprechpartner

Rainer Rauch, CADFEM GmbH, Stuttgart  
Tel. +49 (0) 711-99 07 45 22  
E-Mail [rrauch@cadfem.de](mailto:rrauch@cadfem.de)