

**Nutzungsdauer
von Hubwerken in Hafenumschlaggeräten**

Bericht B 15

Ausschuß für Hafenumschlagtechnik

AHU

Hafenbautechnische Gesellschaft e.V.

HTG

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 Einführung	3
1.1 Sachverhalt	3
1.2 Auslegung von Hubwerken auf Betriebsfestigkeit	4
1.3 Verbrauchter Anteil der theoretischen Nutzungsdauer	6
2 Anwendung auf die Hubwerke von Hafenkranen	7
2.1 Maßnahmen zum Erreichen sicherer Betriebsperioden	7
2.2 Ermittlung der theoretischen Restnutzungsdauer	9
3 Schlußbetrachtung	11
4 Anhang	12
4.1 Beispiele	12
4.1.1 Überprüfung des Hubwerks einer Container-Verladebrücke im Seehafen	12
4.1.2 Planung für Hubwerke einer Container-Verladebrücke im Seehafen	13
4.1.3 Überprüfung des Hubwerks eines Auslegerdrehkranes im Stückgutbetrieb	13
4.1.4 Überprüfung der Hubwerke eines Schiffsentladers in einem Kraftwerk	14
4.2 Geräte zur Protokollierung	16
4.2.1 Lastkollektivzähler	16
4.2.2 Geräte zur elektronischen Registrierung und Auswertung	17
4.2.2.1 Berechnung der Betriebsfestigkeit	17
4.2.2.2 Eingabedaten für die elektronische Auswertung	18
4.2.2.3 Berechnung	18
4.2.2.4 Ausgabedaten	18
4.2.2.5 Funktions- und Datensicherheit	19

1 Einführung

1.1 Sachverhalt

Die UVV VBG 8 „Winden, Hub- und Zuggeräte“, die auch für die Hubwerke von Kranen verbindlich ist, enthält seit 01.10.1993 Regelungen zur Betriebsfestigkeit von Hubwerken. Diese UVV wurde zum 01.10.1996 neu ge-
faßt und mit Durchführungsanweisungen versehen.

In der VBG 8 wird auf die Nutzungsdauer der Hubwerke eingegangen und gefordert, daß im Rahmen der ohnehin notwendigen regelmäßigen Prüfungen durch Sachkundige nun auch der verbrauchte Anteil der theoretischen Nutzungsdauer zu ermitteln ist (§ 23, Absatz (4)), und daß Kranhubwerke mit Ablauf der theoretischen Nutzungsdauer außer Betrieb zu nehmen sind (§ 35a, Absatz (1)).

Ein Weiterbetrieb nach Ablauf der theoretischen Nutzungsdauer ist nur zulässig, wenn von einem Sachverständigen festgestellt worden ist, daß dem Weiterbetrieb keine Bedenken entgegenstehen und wenn die von ihm festgelegten Bedingungen für den Weiterbetrieb erfüllt sind bzw. eingehalten werden (§ 35a, Absatz (2)).

Auf die Ermittlung des verbrauchten Anteils der theoretischen Nutzungsdauer darf unter bestimmten Voraussetzungen verzichtet werden, z.B. wenn das Kranhubwerk regelmäßig (mindestens alle vier Jahre) durch Sachverständige geprüft wird und wenn durch eine zustandsbezogene Instandhaltung Schäden, die zu einem Lastabsturz führen können, rechtzeitig erkannt und beseitigt werden, wobei die geeignete Form der Instandhaltung durch den Hersteller oder durch einen Sachverständigen vorgegeben sein muß (§ 23, Absatz (5), Nr. 4).

Die VBG 8 berücksichtigt damit die technische Entwicklung, die in den vergangenen Jahrzehnten stattgefunden hat, nämlich die Praxis der zeitfesten Auslegung von Maschinenteilen, die inzwischen auch für Hubwerke eine größere Bedeutung erhalten hat.

Die VBG 8 bezieht sich dabei auf die gesetzlichen Vorgaben im Anhang I der EG-Maschinenrichtlinie 89/392/EWG sowie auf die technischen Regeln der FEM, insbesondere auf FEM 9.755 „Maßnahmen zum Erreichen sicherer Betriebsperioden von motorisch angetriebenen Serienhubwerken (SWP)“ (vgl. Durchführungsanweisungen zu § 23 und § 35a der VBG 8).

Die Vorgaben der Maschinenrichtlinie gelten für alle Maschinen, während die FEM 9.755 für Serienhubwerke konzipiert wurde. Die FEM 9.755 kann sinngemäß auf alle Hubwerke, also auch auf die Hubwerke von Hafenschlaggeräten, angewendet werden.

Für vor dem 01.10.1994 in Betrieb genommene Hubwerke enthält die VBG 8 in § 37 Abs. 5 ausführliche Übergangsregelungen.

1.2 Auslegung von Hubwerken auf Betriebsfestigkeit

Hubwerke arbeiten im sogenannten „Aussetzbetrieb mit wechselnder Belastung“. Diese Betriebsweise wird bei der Auslegung auf Betriebsfestigkeit (Ermüdung) berücksichtigt.

Während des erwarteten Nutzungszeitraumes eines Kranes (z.B. 20 Jahre) ist das Hubwerk nicht ständig in Betrieb. Die zu erwartende Gesamtbetriebsdauer des Hubwerkes ist also wesentlich geringer als der erwartete Nutzungszeitraum. Sie läßt sich aus den erwarteten Einsatzbedingungen des Kranes ermitteln: Arbeitstage pro Jahr, Arbeitsstunden pro Arbeitstag, Einschaltzeit des Hubwerkes pro Arbeitsstunde. Dieser **Aussetzbetrieb** wird also dadurch berücksichtigt, daß für die Auslegung des Hubwerkes auf Ermüdung nur die erwartete Einschaltzeit „T“ (auch als Gesamtlaufzeit oder als Gesamtbetriebsdauer bezeichnet) zugrunde gelegt wird. Die einschlägigen technischen Regelwerke sehen hierfür eine Einstufung der Triebwerke in Laufzeitklassen (DIN 15020) oder in Betriebsklassen (FEM 1.001) vor.

Die **wechselnde Belastung** eines Hubwerkes läßt sich durch das sogenannte Belastungskollektiv (auch als Lastkollektiv oder als Beanspruchungskollektiv bezeichnet) beschreiben, das die Häufigkeitsverteilung der unterschiedlichen Belastungen erfaßt. Aus der Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Belastungen läßt sich ein äquivalenter Mittelwert der Belastung berechnen. Für die Auslegung eines Hubwerkes auf Ermüdung wird der kubische Mittelwert der Belastung als äquivalenter Mittelwert zugrunde gelegt. Dabei wird vereinfachend angenommen, daß die Ermüdungslebensdauer umgekehrt proportional der dritten Potenz der Belastung ist.

Zahlenmäßig und dimensionslos läßt sich diese äquivalente durchschnittliche Belastung durch den „auf die Maximalbelastung (Vollast) bezogenen kubischen Mittelwert der Belastung“ k beschreiben (vgl. DIN 15020 oder FEM 9.511).

Der Wert $k^3 = k_m$ wird in FEM 1.001 als „Kollektivbeiwert“, in FEM 9.755 als „Faktor des Belastungsspektrums“ bezeichnet.

Es gilt:

$$k_m = \sum (\beta_i + \gamma)^3 \cdot t_i \quad \text{mit: } \beta_i = \frac{\text{Teillast}_i}{\text{Tragfähigkeit}} \quad \gamma = \frac{\text{Totlast}}{\text{Tragfähigkeit}}$$

$$t_i = \frac{\text{Laufzeit mit Teillast } \beta_i \text{ und Totlast}}{\text{Gesamtlaufzeit}}$$

Die für einen Kran oder für seine Triebwerke zu erwartenden Belastungskollektive lassen sich im voraus nur ungefähr abschätzen aber kaum zahlenmäßig exakt berechnen. Daher sehen die einschlägigen technischen Regelwerke eine Einstufung in Standardkollektive - leicht, mittel, schwer, sehr schwer - vor, denen bestimmte obere Grenzwerte von k bzw. k_m zugeordnet sind. Mit dem jeweils erwarteten k_m -Wert wird dann die Auslegung der Triebwerke und Bauteile auf Ermüdung vorgenommen.

Dazu wird für das Triebwerk eine sogenannte Triebwerksgruppe ermittelt, die sich aus der Einstufung in Laufzeitklasse (bzw. Betriebsklasse) und in Standardkollektiv ergibt. Die Stufung von Laufzeitklasse, Standardkollektivbeiwert und Triebwerksgruppe ist derart, daß für eine jede Triebwerksgruppe das Produkt aus Laufzeit und Kollektivbeiwert ein konstanter Wert ist, der der theoretischen Nutzungsdauer für den Kollektivbeiwert $k_m = 1$ entspricht, d.h. einer theoretischen Betriebsdauer unter Vollast.

Dieses Produkt aus erwarteter Laufzeit und erwartetem Kollektivbeiwert ist das Auslegungskriterium, also der Minimalwert der rechnerischen Lebensdauer, für die der Hersteller das Triebwerk oder Bauteil in Bezug auf Ermüdung bemessen muß. Er muß also den Nachweis führen, daß die rechnerische Ermüdungs-Lebensdauer des betrachteten Bauteils unter Vollast größer als oder mindestens gleich diesem Minimalwert ist.

Triebwerk- gruppe	1 Dm	1 Cm	1 Bm	1 Am	2 m	3 m	4 m	5 m	*
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	**
Theoretische Nutzung D in Stunden bei Vollast	100	200	400	800	1600	3200	6300	12500	

* nach DIN 15020 oder FEM 9.511

** nach ISO 4301 oder FEM 1.001

Dieser, einer jeden Triebwerksgruppe zugeordnete Minimalwert wird in FEM 9.755 als „theoretische Nutzung D für $k_m = 1$ “ bezeichnet und entstammt der dortigen Tab. 1 bzw. der VBG 8, Anhang 1, Abschnitt 4.1.4.

Wenn die zu erwartende Betriebsweise des Kranes genauer abgeschätzt werden kann, so läßt sich die „theoretische Nutzung D für $k_m = 1$ “ auch berechnen als Produkt aus der zu erwartenden Gesamtbetriebsdauer T (das ist die zu erwartende Einschaltzeit während des vorgesehenen Nutzungszeitraumes) und dem zu erwartenden Kollektivbeiwert k_m

$$D_{\text{theor.}} = T \cdot k_m$$

Dieser Wert $T \cdot k_m$ wäre dann der Auslegung in Bezug auf Ermüdung zugrunde zu legen. Er wird in der VBG 8 als „theoretische Nutzungsdauer“ bezeichnet und entspricht der rechnerischen Vollastlebensdauer, die vom Hersteller in der Dokumentation anzugeben ist.

1.3 Verbrauchter Anteil der theoretischen Nutzungsdauer

Während des praktischen Betriebes werden die tatsächlichen Betriebsbedingungen nicht immer den erwarteten Betriebsbedingungen entsprechen, und zwar sowohl bezüglich der Dauer des Betriebes als auch bezüglich der Schwere des Betriebes. Deswegen ist es sinnvoll, in regelmäßigen Zeitabständen zu überprüfen, wie weit die zur Ermüdung führende Nutzung des Hubwerkes fortgeschritten ist. Das heißt, die tatsächliche Nutzung S des Hubwerkes bis zum jeweiligen Prüftermin muß festgestellt und mit der der Auslegung zugrunde gelegten theoretischen Nutzung D verglichen werden.

Die tatsächliche Nutzung S ist definiert als die bis zum Prüftermin j tatsächlich absolvierte Laufzeit T_j , multipliziert mit dem bis zum Prüftermin tatsächlich aufgetretenen Kollektivbeiwert k_{mj} und mit einem Faktor f, der die Qualität der Betriebsdatenermittlung berücksichtigt:

$$S = T_j \cdot k_{mj} \cdot f$$

Der Faktor f ist abhängig von der Erfassungsweise:

Protokollierung mit Geräten (z.B. Lastkollektivspeicher):	f = 1
Dokumentation und geeignete Zählwerke (z.B. Betriebsstundenzähler):	f = 1,1
Dokumentation ohne Zählwerke (z.B. Abschätzung):	f = 1,2

Solange S kleiner ist als D, darf das Hubwerk weiter betrieben werden. Die Differenz $D - S$ kann als theoretische Restnutzungsdauer aufgefaßt

und bezeichnet werden. Hieraus kann die noch verbleibende Laufzeit (Einschaltzeit) berechnet werden, indem nämlich $D - S$ durch den für die Zukunft zu erwartenden Kollektivbeiwert dividiert wird.

2 Anwendung auf die Hubwerke von Hafenkranen

Hafenkrane einschließlich ihrer Hubwerke werden für lange Nutzungszeiträume von 20 Jahren und mehr geplant und ausgelegt. Außerdem sind die Anforderungen an Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit hoch. Daher werden wesentliche Bauteile der Hubwerke von Hafenkranen oft dauerhaft ausgelegt. Hierfür ist die regelmäßige Ermittlung des verbrauchten Anteils der theoretischen Nutzungsdauer dann nicht erforderlich.

Wenn jedoch Hubwerke oder Hubwerksteile von Hafenkranen zeitfest ausgelegt sind, so sind die in der VBG 8 geforderten regelmäßigen Überprüfungen unter sinngemäßer Anwendung der FEM 9.755 durchzuführen.

2.1 Maßnahmen zum Erreichen sicherer Betriebsperioden

Für Hubwerke, die nach dem Inkrafttreten der Maschinenrichtlinie in Betrieb genommen wurden und werden, fordert die Richtlinie, daß sie so konzipiert und ausgeführt sind, daß unter den vorgesehenen Einsatzbedingungen innerhalb der vorgesehenen Nutzungsdauer ein Versagen infolge Ermüdung oder Alterung ausgeschlossen ist. (Abschnitt 4.1.2.3 Anhang I der Maschinenrichtlinie 89/392/EWG)

Dies bedeutet, daß in den Betriebs- und Wartungsanleitungen Angaben über die zulässigen Einsatzbedingungen und die erforderlichen Maßnahmen zur Erhaltung des sicheren Betriebszustandes der Anlage enthalten sein müssen, das heißt für ein Hubwerk u.a.:

- die Einstufung und damit auch die theoretische Nutzung D für Vollast
- das Verfahren zur Ermittlung der Restnutzungsdauer
- die erforderlichen Maßnahmen nach dem Erreichen der theoretischen Nutzungsdauer, wie z.B. Kontrollen, Auswechseln von Teilen im Rahmen einer Generalüberholung und die danach wieder zur Verfügung stehende neue theoretische Nutzungsdauer.

Dem Betreiber wird dringend empfohlen, bei der Übernahme eines neuen Kranes oder neuen Hubwerkes darauf zu achten, daß die Betriebs- und Wartungsanleitungen auch und insbesondere in diesen Punkten vollständig sind.

Bei neuen Hafenkranen können über geeignete Einrichtungen die Laufzeiten und auch das Lastkollektiv kontinuierlich aufgezeichnet werden (s.a. Kapitel 4.2). Bei den Anforderungen an solche Einrichtungen, insbesondere in Bezug auf die Fehlersicherheit, ist von einer Risikobewertung auszugehen.

Der Betreiber einer Krananlage hat im Rahmen der jährlich wiederkehrenden Prüfungen nach VBG 8 § 23 (4) die theoretische Restnutzungsdauer der Hubwerke nachzuweisen, es sei denn, daß eine der in § 23 (5) definierten 4 Ausnahmen zutrifft, also wenn:

1. „bei Versagen von Bauteilen durch technische Maßnahmen ein Lastabsturz verhindert ist.“

Der Lastabsturz wird bei einem in Hafenkranen üblichen Hubwerk z.B. durch eine direkt auf die Hubtrommel wirkende Sicherheitsbremse, die im Falle des Versagens eines Bauteiles selbsttätig einfallen muß, verhindert.

oder wenn

2. „die Geräte nur in abgesperrten Bereichen zum Einsatz kommen, zu denen Personen keinen Zutritt haben.“

Abgesperrte Bereiche, zu denen Personen keinen Zutritt haben, sind im Hafen nur sehr selten anzutreffen. Sie sind im Lagerbereich, bei automatischen Kranen bzw. im Massengutumschlag jedoch denkbar.

oder wenn

3. „durch geeignete Prüfverfahren Schäden, die zu einem Lastabsturz führen können, rechtzeitig erkannt und beseitigt werden.“

Als geeignetes Prüfverfahren wird in den Durchführungsregeln der UVV beispielhaft die Frequenzanalyse genannt. Sie ist verhältnismäßig aufwendig, erfordert genaue Kenntnisse der Getriebedaten und sehr viel Erfahrung. Außerdem werden durch sie nicht alle Schäden rechtzeitig erkannt, die zu einem Lastabsturz führen können. Mit entsprechender Erfahrung können zwar viele Lagerschäden und Schäden an Zahnflanken, nicht aber z.B. Anrisse an Wellen rechtzeitig erkannt werden. So wird der Anspruch der UVV allein durch die Frequenzanalyse nicht voll erfüllt.

oder wenn

4. „bei kraftbetriebenen Kranhubwerken, die keine Serienhebezeuge sind und regelmäßig durch Sachverständige geprüft werden, durch eine zustandsbezogene Instandhaltung Schäden, die zu einem Lastabsturz

führen können, rechtzeitig erkannt und beseitigt werden. Die hierzu geeignete Form der Instandhaltung muß entweder durch den Hersteller oder durch einen Sachverständigen vorgegeben sein. Das Prüfintervall der Sachverständigenprüfung darf vier Jahre nicht überschreiten."

Die zustandsbezogene Instandhaltung soll die Inspektion, Wartung und Instandsetzung in festgelegten Intervallen umfassen. Die Vorgaben der Hersteller in Betriebsanleitungen sind einzuhalten. Bei der Konkretisierung der Maßnahmen sollten auch die Erfahrungen der Betreiber und Sachverständigen berücksichtigt werden.

In Ausnahmefällen, in denen für vorhandene Hubwerke keine Vorgaben der Hersteller vorliegen und nicht in Erfahrung zu bringen sind, muß der Sachverständige entscheiden. Dabei wird er auf eigene Erfahrungen und die der Betreiber mit baugleichen oder ähnlichen Hubwerken unter Berücksichtigung der Vorgeschichte des Kranes zurückgreifen.

2.2 Ermittlung der theoretischen Restnutzungsdauer

Bei Kranen, für die keine entsprechenden Anweisungen vom Hersteller vorliegen, hat der Betreiber folgendermaßen vorzugehen:

1. Feststellung der Einstufung des Hubwerks und damit Feststellung der theoretischen Nutzungsdauer D (vgl. Tabelle nach Kapitel 1.2)
2. Ermittlung oder Abschätzung der bisherigen Betriebsdaten für das Hubwerk, wie Laufzeit und Lastkollektiv
3. Berechnung der tatsächlichen Nutzungsdauer S
4. Berechnung der theoretischen Restnutzungsdauer $D - S$
5. Falls die theoretische Nutzungsdauer erreicht oder überschritten ist:
Ermittlung und Festlegung der Maßnahmen für die Generalüberholung und Festlegung der neuen theoretischen Nutzungsdauer bis zu einer erneuten Instandsetzung

Zu 1) Feststellung der Einstufung

Bei neueren Kranen ist die Einstufung der Hubwerke im Kranprüfbuch bzw. in der Bedienungs- und Wartungsanleitung angegeben. Wenn nicht, müssen die Hersteller des Kranes bzw. des Hubtriebwerkes um Auskunft gebeten werden. Sollten diese keine Angaben machen können bzw. nicht mehr existieren, ist der Betreiber gezwungen, unter Zuhilfenahme eines Sachverständigen realistische Annahmen zu treffen, wie z.B.:

- Einstufung gemäß vergleichbarer Krane auch u.U. bei anderen Betreibern unter Berücksichtigung von Erfahrungen mit Hubwerken gleicher oder ähnlicher Bauart.
- Nachrechnung des Hubwerks, wenn die Konstruktionszeichnungen mit den erforderlichen Angaben vorliegen.
- Annahme, daß die Hubwerke der Hafenkranen älteren Baujahres nach den damals allgemein geltenden Regeln der Technik dimensioniert worden sind. Häufig wurden damals Wellen, Zahnräder usw. von Hubwerken dauerfest und Wälzlager für 10.000 bis 20.000 Betriebsstunden ausgelegt.

Zu 2) Ermittlung der bisherigen Betriebsdaten

Vom Betreiber müssen die tatsächliche Laufzeit der Hubwerke und das Lastkollektiv ermittelt werden.

Auch bei älteren Hafenkranen wurden häufig Betriebsstundenzähler in Hubwerken eingebaut. Von ihnen kann die tatsächliche Gesamtlaufzeit abgelesen werden. Sind keine Betriebsstundenzähler vorhanden, muß die Gesamtlaufzeit aus den geschätzten Laufzeiten der Hubwerke pro Tag bzw. Schicht und aus der Anzahl der Arbeitstage bzw. -schichten innerhalb der Lebenszeit errechnet werden.

Das Lastkollektiv muß üblicherweise abgeschätzt werden. Die Beispiele im Anhang I der Durchführungsanweisungen zur VBG 8 sind dabei hilfreich.

Die Abschätzungen müssen möglichst genau erfolgen, da sie einen erheblichen Einfluß auf das Ergebnis der Berechnung und damit einerseits auf die Sicherheit und andererseits auf die Instandhaltungskosten der Hubwerke haben.

Zur Bestätigung oder Korrektur der Annahmen und Abschätzungen kann es sinnvoll und auch wirtschaftlich sein, nachträglich Betriebsstundenzähler oder auch sogar Zähler des Lastkollektivs einzusetzen, um dann genauere Rückschlüsse auf die bisherige Einsatzzeit zu erlauben. Eventuelle betriebliche Veränderungen der Einsatzbedingungen über die Nutzungsdauer der Krane sind dabei jedoch zu beachten.

Zu 3) Berechnung der theoretischen Nutzungsdauer

Die tatsächliche Nutzungsdauer S ergibt sich zu:

$$S = T_j \cdot k_{nd} \cdot f \quad (\text{nach Kapitel 1.3})$$

Zu 4 Berechnung der theoretischen Restnutzungsdauer

Die verbleibende Laufzeit T (Einschaltzeit) ergibt sich aus der theoretischen Restnutzung D - S und aus dem für die Zukunft zu erwartenden Kollektivbeiwert k_m zu:

$$T = \frac{D - S}{k_m}$$

Hersteller und Sachverständigen-Organisationen bieten Rechenprogramme an, nach denen Berechnungen der theoretischen Restnutzungsdauer durchgeführt werden können.

3 Schlußbetrachtung

Nach der UVV "Winden, Hub- und Zuggeräte" (VBG 8) muß für die Hubwerke aller Hafenkranen im Rahmen der jährlich wiederkehrenden Prüfungen der verbrauchte Anteil der theoretischen Nutzungsdauer festgestellt und die verbleibende Restnutzungsdauer ermittelt werden. Dies gilt auch für alle bereits vorhandenen in Betrieb befindlichen Krane.

Damit soll berücksichtigt werden, daß manche Hubwerksteile nicht dauerfest sondern nur zeitfest ausgelegt sind, also einer Ermüdung unterliegen und damit nur eine begrenzte Lebensdauer haben. Die nominelle (theoretische) Lebensdauer wird - in Übereinstimmung mit den in den Normenwerken festgelegten Definitionen - für eine bestimmte Überlebenswahrscheinlichkeit berechnet. (Die Überlebenswahrscheinlichkeit z.B. bei Wälzlagern beträgt 90 %, wenn die Katalogwerte ausgenutzt werden. Das heißt, 10 % aller Lager gleicher Bauart und Baugröße können dann auch schon vor Erreichen der theoretischen Lebensdauer ausfallen.)

Insofern können ermüdungsbedingte Ausfälle auch innerhalb der sogenannten "sicheren Betriebsperiode" (SWP = safe working period) nicht vollständig ausgeschlossen werden. Das heißt, die diesbezügliche Forderung der Maschinenrichtlinie (vgl. Kapitel 2.1) ist grundsätzlich nicht 100 %ig erfüllbar. In diesem Zusammenhang wird auf Satz 2 der Vorbemerkungen zu Anhang I der Maschinenrichtlinie hingewiesen.

Überdies werden Ausfälle aufgrund anderer Ursachen von der Überwachung der Nutzungsdauer nicht berührt.

Für den sicheren Betrieb der Hubwerke genügt es also nicht, sich auf den Nachweis der theoretischen Restnutzungsdauer zu verlassen. Es bleibt weiterhin erforderlich, alle Teile der Hubwerke regelmäßig auf ihre Betriebssicherheit zu prüfen.

4 Anhang

4.1 Beispiele

Gemäß Kapitel 1.3 muß die tatsächliche Nutzung S des Hubwerks festgestellt und mit der der Auslegung zugrunde gelegten theoretischen Nutzung D verglichen werden.

D ist aus der Tabelle im Kapitel 1.2 zu entnehmen.

Solange S kleiner als D ist, darf das Hubwerk weiter betrieben werden.

$$\text{Tatsächliche Nutzung: } S = T_j \cdot k_{mj} \cdot f$$

$$\text{Kollektivbeiwert: } k_m = \sum (\beta_i + \gamma)^3 \cdot t_i$$

Nachfolgend einige Beispiele:

4.1.1 Überprüfung des Hubwerks einer Container-Verladebrücke im Seehafen

Baujahr 1972; Nenntaglast an den Seilen 42.000 kg; 36.699 Betriebsstunden des Hubwerks gemäß Betriebsstundenzähler.

Für die Ermittlung des Lastkollektivs wurde folgende Lastverteilung auf die Hubwerke abgeschätzt: 2 % Vollast; 13 % $\frac{3}{4}$ -Last; 23 % $\frac{1}{2}$ -Last; 62 % $\frac{1}{4}$ -Last (wobei die Lastannahmen jeweils die Summen aus den Teillaisten plus der Totlasten, wie Unterflaschen und Spreader, gebildet sind). Daraus ergibt sich ein:

$$k_m = \left[\frac{1}{1}\right]^3 \cdot 0,02 + \left[\frac{3}{4}\right]^3 \cdot 0,13 + \left[\frac{1}{2}\right]^3 \cdot 0,23 + \left[\frac{1}{4}\right]^3 \cdot 0,62 = 0,113$$

$$S = 36.699 \cdot 0,113 \cdot 1,1 = 4.562 \text{ h.}$$

Bei einer Einstufung in die Triebwerksgruppe 4m (M7) wäre noch eine theoretische Restnutzungsdauer von

$$D - S = 6.300 - 4.562 = 1.738 \text{ h} \quad (\text{Vollaststunden})$$

vorhanden, was bei Beibehaltung des Lastkollektivs und der Ermittlungsmethode den Betrieb des Hubwerkes für weitere

$$\frac{D-S}{k_m \cdot f} = \frac{1738}{0,113 \cdot 1,1} = 13.982 \text{ Stunden}$$

erlauben würde.

Früher wurden Hubwerke der Container-Verladebrücken gelegentlich auch in die Triebwerksgruppen 3m und auch 2m eingestuft. Falls das Hubwerk

bei dem vorliegenden Beispiel eine Einstufung nach 3m gehabt hätte, wäre

$$D - S = 3.200 - 4.562 = -1.362 \text{ h}$$

und damit die theoretische Nutzungsgrenze bereits überschritten und eine Stilllegung oder Generalüberholung nach Angaben des Herstellers erforderlich.

4.1.2 Planung für Hubwerke einer Container- Verladebrücke im Seehafen

Nenntraglast 45.000 kg; Einstufung gemäß der HTG Empfehlung AHU E1, Bild 25 in 4m (M7) mit $D = 6.300 \text{ h}$ Vollastlebensdauer

Das Lastkollektiv wird folgendermaßen geschätzt:

50 % leerer Spreader 10.000kg; 5 % 45.000 kg; 10 % 35.000 kg; 15 % 30.000 kg; 20 % 20.000 kg jeweils Teillasten einschließlich Spreader; daraus ergibt sich:

$$k_n = \left[\frac{10000}{45000} \right]^3 \cdot 0,5 + \left[\frac{45000}{45000} \right]^3 \cdot 0,05 + \left[\frac{35000}{45000} \right]^3 \cdot 0,1 + \left[\frac{30000}{45000} \right]^3 \cdot 0,15 + \left[\frac{20000}{45000} \right]^3 \cdot 0,2 = 0,165$$

Das Lastkollektiv soll im Betrieb mit einem Lastkollektivzähler erfaßt und kontrolliert werden.

Bei dem angenommenen Lastkollektiv stände eine tatsächliche Nutzungszeit von

$$T = \frac{6300}{0,165 \cdot 1,0} = 38.182 \text{ h}$$

zur Verfügung.

4.1.3 Überprüfung des Hubwerks eines Auslegerdrehkranes im Stückgutbetrieb

Nenntraglast 25 t; 8.200 Betriebsstunden in 10 Jahren gem. Betriebsstundenzähler; geschätztes Lastkollektiv: 50 % ohne Last (leerer Haken) = 0 t; 7 % 1 t; 7 % 3 t; 7 % 10 t; 7 % 15 t; 15 % 20 t; 7 % 25 t; die Einstufung des Hubwerks ist unbekannt.

$$k_m = \left[\frac{0}{25}\right]^3 \cdot 50 \% + \left[\frac{1}{25}\right]^3 \cdot 7 \% + \left[\frac{3}{25}\right]^3 \cdot 7 \% + \left[\frac{10}{25}\right]^3 \cdot 7 \% + \left[\frac{15}{25}\right]^3 \cdot 7 \% + \left[\frac{20}{25}\right]^3 \cdot 15 \% + \left[\frac{25}{25}\right]^3 \cdot 7 \% = 0,107$$

Bei Annahme, daß das Hubwerk entsprechend den Triebwerksgruppen 2m oder 3m ausgelegt wurde, könnte es bei Beibehaltung des Lastkollektivs bis zu einer Generalüberholung insgesamt folgende tatsächliche Betriebsstunden erreichen:

$$2m \quad T = \frac{1600}{0,107 \cdot 1,1} = 13.594 \text{ h,}$$

also ca. 16 Jahre Nutzungszeitraum bei 820 h/a

$$3m \quad T = \frac{3200}{0,107 \cdot 1,1} = 27.188 \text{ h,}$$

also ca. 33 Jahre Nutzungszeitraum bei 820 h/a.

4.1.4 Überprüfung der Hubwerke eines Schiffsentladers

Baujahr 1985, Gesamttragfähigkeit 12,5 t, Greifereigengewicht 5,0 t, Greiferinhalt 7,5 t, Tragfähigkeit des Haltewerks 6,25 t, Tragfähigkeit des Schließwerks 6,25 t

Triebwerksgruppe 4 m, theoretische Nutzung $D = 6.300 \text{ h}$

Betriebsstunden laut Zähler vom Haltewerk 5.933 h und

Schließwerk 6.769 h

Haltewerk und Schließwerk werden getrennt betrachtet. Die Lastverteilung ist abhängig von der Art der Regelung.

Nach Angaben des Betreibers wird der Entlader wie folgt eingesetzt:

75 % der Lastspiele mit vollem Greifer

25 % der Lastspiele mit halb gefülltem Greifer.

Haltewerk

Tragfähigkeit 6.250 kg

Laufzeiten und zugehörige Lasten:

37,5 % mit 6.250 kg

(voller Greifer, heben/Haltewerk 50 % der Gesamtlast)

50 % mit 5.000 kg
(leerer Greifer, senken/Haltewerk 100 % der Gesamtlast)

12,5 % mit 4.375 kg
(Greifer halb gefüllt, heben/ Haltewerk 50 % der Gesamtlast)

Kollektivbeiwert

$$k_a = \left[\frac{6250}{6250} \right]^3 \cdot 0,375 + \left[\frac{5000}{6250} \right]^3 \cdot 0,5 + \left[\frac{4375}{6250} \right]^3 \cdot 0,125 = 0,67$$

Verbrauchter Anteil der theoretischen Nutzungsdauer:

$$S = T \cdot k_a \cdot f = 5.933 \cdot 0,67 \cdot 1,1 = 4.373 \text{ h}$$

$$\frac{S}{D} = \frac{4373}{6300} = 0,69 \leq 1$$

Das Haltewerk hat 69 % der theoretischen Nutzungsdauer verbraucht und arbeitet in der sicheren Betriebsperiode.

Schließwerk

Tragfähigkeit 6.250 kg; Laufzeit pro Greiferspiel 33 s;
davon: Heben/Senken 22 s; Öffnen/Schließen 11 s

Laufzeiten und zugehörige Lasten:

- 17 % mit 6.250 kg
(Greifer schließen/Schließwerk arbeitet allein)
- 17 % mit 3.000 kg
(Greifer öffnen/Schließwerk arbeitet allein)
- 25 % mit 6.250 kg
(voller Greifer, heben/Schließwerk 50 % der Gesamtlast)
- 8 % mit 4.375 kg
(Greifer halb gefüllt, heben/Schließwerk 50 % der Gesamtlast)
- 33 % mit 200 kg
(Greifer senken/Seilanteil)

Kollektivbeiwert

$$k_{\text{K}} = \left[\frac{6250}{6250} \right]^3 \cdot 0,17 + \left[\frac{3000}{6250} \right]^3 \cdot 0,17 + \left[\frac{6250}{6250} \right]^3 \cdot 0,25 + \left[\frac{4375}{6250} \right]^3 \cdot 0,08 \\ + \left[\frac{200}{6250} \right]^3 \cdot 0,33 = 0,47$$

Verbrauchter Anteil der theoretischen Nutzungsdauer:

$$S = 6.769 \cdot 0,47 \cdot 1,1 = 3.500 \text{ h}$$

$$\frac{S}{D} = \frac{3500}{6300} = 0,56 \leq 1$$

Das Schließwerk hat 56 % der theoretischen Nutzungsdauer erreicht und arbeitet ebenfalls noch in der sicheren Betriebsperiode.

Der Entlader ist seit 13 Jahren in Betrieb und könnte bei gleicher Betriebsweise noch ca. 4 Jahre mit dem Haltewerk und ca. 5,7 Jahre mit dem Schließwerk bis zur Generalüberholung arbeiten.

4.2 Geräte zur Protokollierung

Bei neuen Krananlagen bietet sich die Möglichkeit einer direkten Erfassung der Hubwerksbetriebsdaten, durch die die Beanspruchung des Triebwerkes errechnet und protokolliert werden kann.

Dies hat gegenüber anderen Verfahren zur Ermittlung der Betriebsdaten, die nachträglich angewendet werden und mit geschätzten Werten und Sicherheitszuschlägen (Faktor „f“) arbeiten, den Vorteil, daß der Termin für die vorgeschriebene Generalüberholung genauer bestimmt werden kann.

Es sind verschiedene Geräte zur Protokollierung der Betriebsdaten bekannt.

4.2.1 Lastkollektivzähler

Bei einfachen Lastkollektivzählern ist der Lastbereich in vier bis sechs Stufen eingeteilt. Die Größe der gehobenen Last wird mit einer Meßeinrichtung ermittelt und einer Laststufe zugeordnet. Die Betriebszeit in jeder Stufe wird mit separaten Betriebsstundenzählern erfaßt. Aus den registrierten Betriebszeiten der einzelnen Stufen läßt sich das Lastkollektiv errechnen. Die Summe der einzelnen Betriebszeiten ergibt die Gesamteinschaltzeit des Hubwerkes.

Durch die relativ grobe Einteilung des Lastbereiches und der Annahme, daß alle gehobenen Lasten in einer Laststufe der höchsten Last dieser Stufe entsprechen, wird ein höheres Lastkollektiv errechnet als tatsächlich vorhanden. Mit einer feineren Abstufung des Lastbereiches, wird ein den tatsächlichen Beanspruchungen näher kommendes Rechenergebnis erreicht.

4.2.2 Geräte zur elektronischen Registrierung und Auswertung

Durch die elektronische Registrierung und Auswertung von Lasten und zurückgelegten Hubwegen kann der verbrauchte Anteil der theoretischen Nutzungsdauer auch automatisch ermittelt werden. Im Gegensatz zu anderen Verfahren werden hier anstelle der Betriebsstunden die absolvierten Lastwechsel registriert. Verfahrensgrundlage ist die Betriebsfestigkeitsrechnung.

4.2.2.1 Berechnung der Betriebsfestigkeit

Bei der Konstruktion eines Hubwerkes werden neben den technischen Hauptdaten, wie Tragfähigkeit und Hubgeschwindigkeit, auch die geplante Laufzeit in Stunden und das voraussichtliche Lastkollektiv festgelegt. Mit der Laufzeit und dem Lastkollektiv wird dann die Einstufung des Hubwerkes in eine Triebwerksgruppe vorgenommen und damit die theoretische Nutzungsdauer bestimmt.

Für die Betriebsfestigkeitsrechnung müssen aus der Laufzeit des Hubwerkes in Stunden die vom betrachteten Bauteil zu absolvierenden Lastwechsel errechnet werden.

Die Biegelastwechsel sind z.B. für eine Getriebewelle einfach und genau zu bestimmen, da jede Wellenumdrehung einem Lastwechsel entspricht. Die Summe der Lastwechsel wird nach folgender Formel ermittelt:

$$\text{Summe Lastwechsel} = \text{Laufzeit [h]} \cdot 60 [\text{min/h}] \cdot \text{Nennndrehzahl [1/min]}.$$

Die Nennndrehzahl der zu berechnenden Welle wird aus der Motornennndrehzahl und der entsprechenden Übersetzung bestimmt.

Die Torsionslastwechsel sind von der Getriebeübersetzung unabhängig und stehen durch die vom Konstrukteur angenommenen Hubwerksanläufe pro Stunde für jedes Bauteil in einem bestimmten Verhältnis zu den Biegelastwechseln.

Mit den so festgelegten Lastwechselzahlen, dem Lastkollektiv, den rechnerischen Spannungen, der Bauteilgeometrie, den Kerbfällen und den Werkstoffkennwerten wird die Betriebsfestigkeitsrechnung durchgeführt

und ein Bauteil mit den vorgeschriebenen Sicherheiten zeitfest oder dauerhaft dimensioniert.

4.2.2.2 Eingabedaten für die elektronische Auswertung

Zur Bestimmung der aktuellen Last wird das Signal der Lastmeßeinrichtung registriert.

Die Anzahl der Motorumdrehungen bzw. der zurückgelegte Weg mit der aktuellen Last wird der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) des Kranes entnommen.

4.2.2.3 Berechnung

Bei der automatischen Berechnung wird die aktuelle Last ins Verhältnis zur Nennlast gesetzt und entsprechend der schädigenden Wirkung (dritte Potenz) der Kollektivbeiwert k_m ermittelt. Die in der betrachteten Zeiteinheit absolvierten Motorumdrehungen werden mit dem Kollektivbeiwert multipliziert und kontinuierlich addiert. Diese Summe wird der der Auslegung zugrunde gelegten Anzahl der Umdrehungen unter Vollast im gesamten Nutzungszeitraum gegenüber gestellt. Daraus wird die noch verbleibende Restnutzungsdauer ermittelt.

Die Berechnung erfolgt in bestimmten Zeitintervallen. Die SPS kann ca. alle 80 ms neue Daten zur Verfügung stellen (Zykluszeit der SPS). Ein Zeitintervall von einer Sekunde erscheint jedoch für die Ermittlung der Nutzungsdauer ausreichend.

4.2.2.4 Ausgabedaten

Die Anzeige der Restlebensdauer kann vereinfacht in Prozent der Gesamtlebensdauer erfolgen. Die Prozentangabe hat den Vorteil, daß sich aus ihr alle gewünschten Angaben in Stunden errechnen lassen. Die dazu erforderlichen Grunddaten können dem Kranprüfbuch und der Betriebs- und Wartungsanweisung entnommen werden.

Erfolgt die Ausgabe der Daten auf einem PC-Bildschirm, kann die Anzeige wesentlich komfortabler gestaltet werden. Folgende Daten erscheinen sinnvoll:

- Grunddaten des Hubwerks
- Verbrauchter Anteil der Nutzungsdauer in Stunden
- Restnutzungsdauer in Stunden
- Kollektivbeiwert k_m des bisherigen Betriebes

4.2.2.5 Funktions- und Datensicherheit

Funktionsprüfung

Die einwandfreie Funktion der elektronischen Auswerteeinheit muß prüfbar sein.

Datensicherung

Die Datensicherung soll in bestimmten Zeitintervallen z.B. monatlich durchgeführt werden. Die Daten sind auf Plausibilität zu prüfen und unverlierbar zu dokumentieren.

Systemausfall

Ein Ausfall der elektronischen Auswerteeinheit muß von der Kran-SPS erkannt und gemeldet werden. Sollte das System längere Zeit ausfallen, ist für die Ausfallzeit eine Nutzungsdauerberechnung durchzuführen. Die Systemdaten sind anschließend entsprechend zu korrigieren.

Herausgegeben im November 1998