

**Erläuterungen und Hinweise
zur Anwendung der statischen Daten
der Betriebsanleitung
von Liebherr Turmdrehkränen**

Inhalt	Seite
1. Anwendungsbereich und Zweck	2
2. Mitgeltende Unterlagen	4
3. Anforderungen / Beschreibung	4
3.1 Eckdrücke, Fundamentbelastungen und Ballastangaben	4
3.1.1 Kranaufbau auf Unterwagen oder Fundamentkreuz	8
3.1.2 Kranaufbau auf Einzelfundament mittels Fundamentanker	11
3.1.3 „Problematische Krangründungen“	14
3.2 Turmkombinationen und Einsätze mit Sondernachweis	14
3.3 Sonderlasten (z. B. Erdbeben)	14
4. Frühere Ausgaben	15
5. Änderungen	15
6. Anlagen	15

15.08.2011	Christoph Eiwan Matthias Kraupatz	23.09.2011	Manfred Mielich	
Datum	Erstellt	Datum	Geprüft	

Berechnungsmitteilung 0006

Eigentlich könnte man meinen, dass die Einwirkungen für beide Nachweise gleich sein müssten. Aus physikalischen Gründen, aber auch aus historischen Gründen, hat sich derzeit folgender Standard herausgebildet.

	Festigkeitsnachweis	Stand sicherheitsnachweis
Bemessungskonzept	Konzept der zulässigen Spannungen	Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte
Berücksichtigung von Belastungsspitzen	Berücksichtigung kurzzeitiger (dynamischer) Belastungsspitzen	Berücksichtigung der Nennbelastungen
Berechnungsmethode	Theorie 2. Ordnung	Theorie 1. Ordnung

Tab. 1 – Der statische Nachweis nach DIN 15018 / DIN 15019

Beim Festigkeitsnachweis sind nach aktueller, aber auch zukünftiger Normung bei Turmdrehkränen 4 Sicherheitsniveaus zu unterscheiden:

Lastkombinationen	Globale Sicherheit	Beschreibung
Regelmäßige Lasten	1,48	Kran in Betrieb und Berücksichtigung von Massenkräften
Nicht regelmäßige Lasten	1,34	Kran in Betrieb und Berücksichtigung von Massenkräften sowie zusätzlich von Windlasten in Betrieb
Außergewöhnliche Lasten	1,22	Kran außer Betrieb und Berücksichtigung von Sturm von hinten sowie Montagezustände
Außergewöhnliche Lasten (Sicherheitslastfall)	1,10	Kran außer Betrieb und Berücksichtigung von Sturm von vorne oder Sturm von allen Seiten

Tab. 2 – Sicherheitsniveau im Kranbau nach EN 14439

Derzeit erfolgt der Festigkeitsnachweis überwiegend noch nach dem Konzept der zulässigen Spannungen. Der Stand sicherheitsnachweis basiert seit der Einführung der DIN 15019 auf dem Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte, wobei die Lastkombinationen noch nicht deckungsgleich mit den Lastfällen des Festigkeitsnachweises sind. Erst mit der vollständigen Einführung der allgemeinen Kranbaunorm EN 13001, zusammen mit den Anpassungen für Turmdrehkrane, werden diese beiden Bereiche angeglichen und damit das Konzept der Grenzzustände als universelle Nachweismethode eingeführt.

2. Mitgeltende Unterlagen

EN 14439	Krane – Sicherheit – Turmdrehkrane
DIN 15018-1	Krane – Grundsätze für Stahltragwerke – Berechnung
DIN 15019-1	Krane – Standsicherheit für alle Krane außer gleislosen Fahrzeugkranen und außer Schwimmkranen
DIN 1055-4:1986	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten
FEM 1.001:1998	Berechnungsgrundlagen für Krane (alle Hefte)
FEM 1.005	Empfehlung zur Berechnung von Kranstrukturen außer Betrieb
EN 13001-1	Kransicherheit – Konstruktion allgemein – Teil 1: Allgemeine Prinzipien und Anforderungen
EN 13001-2	Kransicherheit – Konstruktion allgemein – Teil 2: Lasteinwirkungen
EN 13001-3-1	Kransicherheit – Konstruktion allgemein – Teil 3-1: Grenzzustände und Sicherheitsnachweise von Stahltragwerken
EN 1992-1-1	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
EN 1997-1	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln

3. Anforderungen / Beschreibung

3.1 Eckdrücke, Fundamentbelastungen und Ballastangaben

Eckdrücke, Fundamentbelastungen und Ballastangaben befinden sich in der zum jeweiligen Kran gehörenden Betriebsanleitung.

Während bei der Auslegung eines Einzelfundaments der Standsicherheitsnachweis (oder Kippnachweis) vom Kranbetreiber durchzuführen ist, ist dieser Nachweis bei einer Aufstellung auf Unterwagen und Fundamentkreuz mit der Angabe des erforderlichen Zentralballasts bereits erfolgt.

Es ist zu betonen, dass es in der Vergangenheit keine normativen Regeln für die Darstellung der Eckdrücke und Fundamentbelastungsangaben gegeben hat, so dass sich ein De-facto-Standard herausgebildet hat, nach dem diese Belastungsangaben in Anlehnung an DIN 15019 "Krane - Standsicherheit" angegeben werden. Da es sich lediglich um einen De-facto-Standard handelt, gibt es dabei auch herstellerspezifische Eigenheiten. Die nachfolgende Tab. 3 beschreibt daher ausschließlich die Vorgehensweise im Hause Liebherr.

In dieser Tabelle sind alle Lasten angegeben, die beim Standsicherheitsnachweis und bei der Ermittlung von Eckdrücken oder Fundamentbelastungen berücksichtigt werden und mit welchen Faktoren sie in den verschiedenen Lastfällen kombiniert werden.

Berechnungsmitteilung 0006

	Lastfall	Lasten, Lastkombinationen und Teilsicherheitsbeiwerte							
		G	P	M	$W_{(iB)}$	$W_{(aB-Svh)}$	$W_{(aB-Svv)}$	$G_{(A)}$	$W_{(A)}$
1	Kran in Betrieb mit Wind								
	Standsicherheit ^{a)}	1,0	1,1	1,0	1,0				
	Eckdrücke ^{b)}	1,0	1,1	1,0	1,0				
	Fundamentbelastungen ^{c)}	1,0	1,1	1,0	1,0				
2	Kran in Betrieb ohne Wind								
	Standsicherheit ^{a)}	1,0	1,45	1,0					
	Eckdrücke ^{b)}	--- ^{d)}							
	Fundamentbelastungen ^{c)}	--- ^{d)}							
3	Kran in Betrieb bei plötzlichem Energieausfall – Notaus (FEM: Basisstandsicherheit)								
	Standsicherheit ^{a)}	1,0	1,6						
	Eckdrücke ^{b)}	--- ^{d)}							
	Fundamentbelastungen ^{c)}	--- ^{d)}							
4	Kran in Betrieb bei plötzlichem Absetzen oder Abreißen der Last								
	Standsicherheit ^{a)}	1,0	-0,3						
	Eckdrücke ^{b)}	--- ^{d)}							
	Fundamentbelastungen ^{c)}	--- ^{d)}							
<i>Alle In-Betriebs-Lastfälle müssen mit Last an der Spitze und Max-Last am Knickpunkt sowie Wind von hinten und Wind von der Seite berechnet werden.</i>									
5a	Kran außer Betrieb - Sturm von vorne (Ausleger frei drehbar)								
	Standsicherheit ^{a)}	1,0					1,0 ^{f)}		
	Eckdrücke ^{b)}	--- ^{e)}							
	Fundamentbelastungen ^{c)}	1,0					1,0 ^{f)}		
5b	Kran außer Betrieb - Sturm von hinten (Ausleger frei drehbar)								
	Standsicherheit ^{a)}	1,0				1,2			
	Eckdrücke ^{b)}	1,0				1,0			
	Fundamentbelastungen ^{c)}	1,0				1,0			
6	Kran während der Montage (Assembly)								
	Standsicherheit ^{a)}	1,0		1,0				1,25	1,0
	Eckdrücke ^{b)}	--- ^{e)}							
	Fundamentbelastungen ^{c)}	1,0		1,0				1,0	1,0

Tab. 3 – Standsicherheit, Eckdrücke und Fundamentbelastungen

Berechnungsmitteilung 0006

Legende:

a)	Berechnungsansatz, Lastkombination und Sicherheitsfaktoren gem. DIN 15019
b)	Lastkombination der ausgewiesenen Eckdrücke inkl. der beinhalteten Erhöhungsfaktoren
c)	Lastkombination der ausgewiesenen Fundamentbelastungen inkl. der beinhalteten Erhöhungsfaktoren
d)	Belastungen werden nicht ausgewiesen, da üblicherweise nicht bemessungsrelevant. Es handelt sich ausschließlich um Standsicherheitslastfälle zur Ermittlung des erforderlichen Zentralballastbedarfs.
e)	Belastungen werden nicht ausgewiesen, da üblicherweise nicht bemessungsrelevant. In Einzelfällen kann die Maßgeblichkeit für die Bemessung der Unterkonstruktion durch einen Vergleich der Fundamentbelastungen eines entsprechenden Kranaufbaus mit identischer Hakenhöhe auf Fundamentanker abgeschätzt werden. (siehe Anhang B)
f)	Der anzusetzende Staudruck ist gegenüber dem Lastfall Sturm von hinten reduziert
G	Eigengewicht
P	Hublast <i>Anm.: Im Lastfall 1 „Kran in Betrieb mit Wind“ handelt es beim Standsicherheitsnachweis beim Faktor 1,1 um einen Teilsicherheitsbeiwert. Bei der Lastkombination zur Ermittlung der Eckdrücke und Fundamentbelastungen jedoch um einen dynamischen Erhöhungsbeiwert.</i>
M	Massenkräfte (inkl. dynamischer Erhöhung)
W_(iB)	Wind in Betrieb ($v = 20 \text{ m/s}$, $q = 250 \text{ Pa}$)
W_(aB-Svh)	Wind außer Betrieb – Sturm von hinten, gem. FEM 1.005 (C25, D25, etc.)
W_(aB-Svv)	Wind außer Betrieb – Sturm von vorne, gem. FEM 1.005
G_(A)	Montagezustand – Gewicht des Bauteils, das gerade montiert wird
W_(A)	Montagezustand – Windlast während der Montage ($v = 14 \text{ m/s}$, $q = 125 \text{ Pa}$)

Tab. 3 – Standsicherheit, Eckdrücke und Fundamentbelastungen – (Fortsetzung)

Wie aus Tab. 3 ersichtlich, handelt es sich bei den Eckdruck- und Fundamentbelastungsangaben um charakteristische Lasten aus der Standsicherheitsberechnung nach DIN 15019. Um diese Werte im Folgenden auch für besondere Bemessungsaufgaben und -situationen verwenden zu können, sind in Tab. 4 konservativ abgeschätzte Zuschlagsfaktoren angegeben, mit denen die Werte der Betriebsanleitung in diesen Situationen multiplikativ zu erhöhen sind (siehe Kap. 3.1.2 und Kap. 3.1.3).

Berechnungsmitteilung 0006

	Lastfall	Zuschlagsfaktoren			Sicherheit Kran
		$\phi_{(dyn.)}$	$\phi_{(Th.2.O.)}$	$\phi_{(\star)}$	γ_f
1	Kran in Betrieb mit Wind				
	Eckdrücke	1,10	1,05 – 1,10	1,00	1,34
	Fundamentbelastungen	1,10	1,05 – 1,10	1,00 – 1,05	1,34
5a	Kran außer Betrieb - Sturm von vorne (Ausleger frei drehbar)				
	Eckdrücke	--- ¹⁾	--- ¹⁾	--- ¹⁾	1,10
	Fundamentbelastungen	1,00	1,10	1,05 – 1,10	1,10
5b	Kran außer Betrieb - Sturm von hinten (Ausleger frei drehbar)				
	Eckdrücke	1,00	1,05 – 1,10	1,00	1,22
	Fundamentbelastungen	1,00	1,05 – 1,10	1,05 – 1,10	1,22
6	Kran während der Montage (Assembly)				
	Eckdrücke	--- ¹⁾	--- ¹⁾	--- ¹⁾	1,22
	Fundamentbelastungen	1,00	1,05 – 1,10	1,05	1,22
Legende:					
¹⁾	Belastungen werden nicht ausgewiesen, da für konventionelle Gründungen i. d. R. nicht bemessungsrelevant (sehr kurzfristiges Auftreten der Belastung); Bei speziellen Gründungen, z. B. Kranaufbau auf Stahlunterkonstruktionen oder Geschossdecken, können diese Werte bei Liebherr angefragt werden (s. Anlage B).				
$\phi_{(dyn.)}$	Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung dynamischer Einflüsse; Es ist zu beachten, dass die Lastangaben bereits einen Zuschlag von 10% beinhalten (s. Tab. 3).				
$\phi_{(Th.2.O.)}$	Zuschlagsfaktor zur Berücksichtigung der Effekte aus Theorie II. Ordnung;				
$\phi_{(\star)}$	Zuschlagsfaktor für Belastungen des Kranturms über Eck durch Wind bzw. Sturm; Bei einer Aufstellung auf Unterwagen sind die Werte für die Stellung über Eck bereits enthalten. Bei den Fundamentbelastungen sind in den Tabellen die Werte für eine Stellung des Krans parallel zu den Außenkanten des Blockfundaments angegeben. Für problematische Krangründungen, wo eine Bemessungssituation über Eck nachgewiesen werden muss, ist bei den Fundamentbelastungen ein Erhöhungsfaktor für diese Laststellung zu berücksichtigen.				
γ_f	Globaler Sicherheitsbeiwert nach EN 14439 für Krane, der bei der Bemessung der Stahlkonstruktion zugrunde gelegt wird (informativ);				

Tab. 4 – Faktoren zur Umrechnung der Standsicherheitsbelastungen (nach DIN 15019) in Bemessungslasten

3.1.1 Kranaufbau auf Unterwagen oder Fundamentkreuz

Die Standsicherheit des Krans als Gesamtstruktur ist bis zur Gelände- oder Schienenoberkante, im allgemeinen Fall bis zur Schnittstelle zur Unterkonstruktion, gewährleistet, sofern der in der Betriebsanleitung angegebene Zentralballast aufgelegt ist und alle weiteren Vorgaben und Sicherungsmaßnahmen erfüllt sind. Die Berechnung des erforderlichen Zentralballasts erfolgt durch den Kranhersteller entsprechend den jeweils gültigen Vorschriften und Normen. Eine Nachrechnung oder Prüfung des Zentralballastbedarfs ist daher seitens der Baustelle nicht erforderlich und aufgrund der nicht bekannten Lastkomponenten auch nicht möglich. Seitens der Baustelle ist folglich ausschließlich die Unterkonstruktion (z. B. das Fundament, der Baugrund, etc.) auf eine ausreichende Tragfähigkeit hin nachzuweisen.

In den Eckkraftangaben von Liebherr-Turmdrehkränen sind alle Einwirkungen (z. B. Eigengewicht, Hublast, Wind, Katzfahren, Kranfahren, etc.) enthalten und zu einem maximalen resultierenden Eckdruck zusammengefasst. Bei den angegebenen Eckdrücken handelt es sich, wie im letzten Kapitel dargestellt, um charakteristische Belastungen. Außerdem enthalten die Eckkraftangaben im Lastfall Kran in Betrieb einen reduzierten dynamischen Erhöhungsbeiwert. Massenkräfte resultierend aus den Kranantrieben werden ungünstigst berücksichtigt (vgl. Tab. 3). Eine Aufteilung der Eckdrücke in ständige (Eigengewicht) und veränderliche Anteile (z. B. Nutzlast, Massenkräfte, Wind, etc.) erfolgt nicht.

Mit der beliebigen Rotation des Krans um seine Drehachse, kann an jeder Ecke sowohl der minimale als auch der maximale rechnerische Eckdruck auftreten. Da die Aufstandspunkte üblicherweise nicht vertikal verankert werden, können systembedingt auch keine Zugkräfte an den Ecken aufgenommen werden. Im Grenzfall, bei einer Stellung des Auslegers über Eck, kann der Eckdruck zu Null werden und es stellt sich eine sog. 3-Punkt-Lagerung ein.

Aufgrund dieses Verhaltens ist der resultierende Eckdruck als eine einzelne Verkehrslast anzusehen und für die Bemessung der Unterkonstruktion, je nach Lastfall, mit einem entsprechenden Teilsicherheitsbeiwert zu beaufschlagen. Ein „quasi ständig“ wirkender Eckdruck ist durch die oben erwähnte Drehung des Kranes nicht zu ermitteln.

Zusätzlich zu den vertikal wirkenden Ecklasten treten auch Horizontalkräfte an den Aufstandspunkten der Unterwagen oder Fundamentkreuze auf. Diese Kräfte resultieren aus Windlasten und Antriebskräften. Die anzusetzende Horizontalbelastung je Ecke setzt sich aus einer resultierenden globalen Horizontalkraft, bestehend aus den Einwirkungen Katzfahren, Kranfahren und/oder Wind, und dem Krandrehmoment, ein Torsionsmoment infolge des Drehantriebs, zusammen.

Die in den Tabellen angegebene globale Horizontalkraft kann entsprechend den Lagerbedingungen auf die Eckpunkte aufgeteilt werden (siehe Abb. 3 und Abb. 5). Das angegebene (Nenn-)Drehmoment M_D ist entsprechend der Spurweite und den herrschenden Lagerbedingungen ebenfalls auf die Eckpunkte zu verteilen (siehe Abb. 2 und Abb. 4). Für eine Bemessung ist das Drehmoment mit einem dynamischen Erhöhungsfaktor von 1,5 zu beaufschlagen. Mit diesem Erhöhungsfaktor werden elastische Effekte, infolge von Anfahr- bzw. Bremsbeschleunigungen, auf den angegebenen Nennwert berücksichtigt. Bei den Massenkräften aus Katz- und Kranfahren ist dieser Erhöhungsfaktor bereits berücksichtigt.

Das Krandrehmoment M_D ist jedoch nur bei Kranbetrieb und Kranmontage zu berücksichtigen, da der Kran außer Betrieb frei drehbar ist.

Berechnungsmitteilung 0006

Die aus der Horizontalkraft H und dem Drehmoment M_D ermittelte Horizontalkraft je Ecke ist ebenfalls als Verkehrslast anzusehen und für die Bemessung des Unterbaus mit entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten zu versehen.

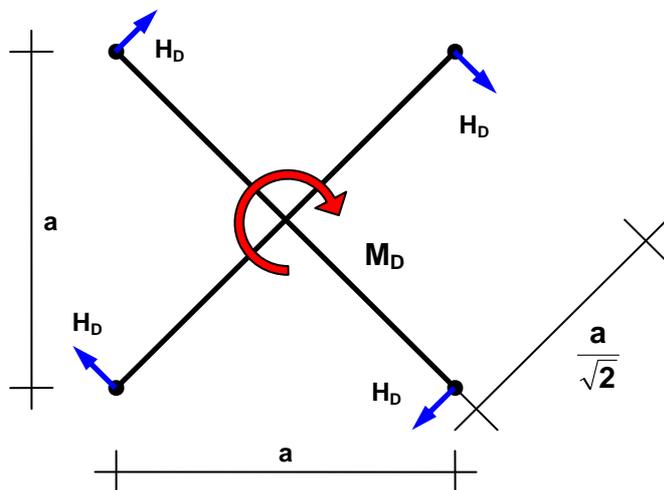
3.1.1.1 Ermittlung der Horizontalkräfte an den Aufstandspunkten

4-Punkt-Lagerung bei einer stationären Aufstellung auf Fundamentplatten oder Ankerschrauben

Folgende Voraussetzungen müssen gegeben sein:

- Die H -Kraft kann an allen Eckpunkten über Reibung aufgenommen werden oder
- die 4-Punkt-Lagerung kann durch eine ausreichend schubsteife Verbindung an den Unterwagen-Eckpunkten erzwungen werden (z.B. Schubknaggen, Schubdübel, etc.).

Anm.: Die schubsteife Verbindung ist für einige Liebherr-Turmdrehkrane verbindlich vorgeschrieben. Bedienungsanleitung des Krans beachten!



Charakteristische Horizontalkraft infolge Drehmoment (M_D) inkl. Erhöhungsfaktor 1,50:

$$H_{D,k,4} = 1,5 \cdot \frac{M_D}{4 \cdot \frac{a}{\sqrt{2}}} = 0,53 \cdot \frac{M_D}{a}$$

Anm.: Falls die Aufstandspunkte kein Quadrat bilden, kann auf der sicheren Seite liegend mit der kleineren Seitenlänge gerechnet werden.

Abb. 2 – Horizontalkraft infolge des Drehmoments M_D

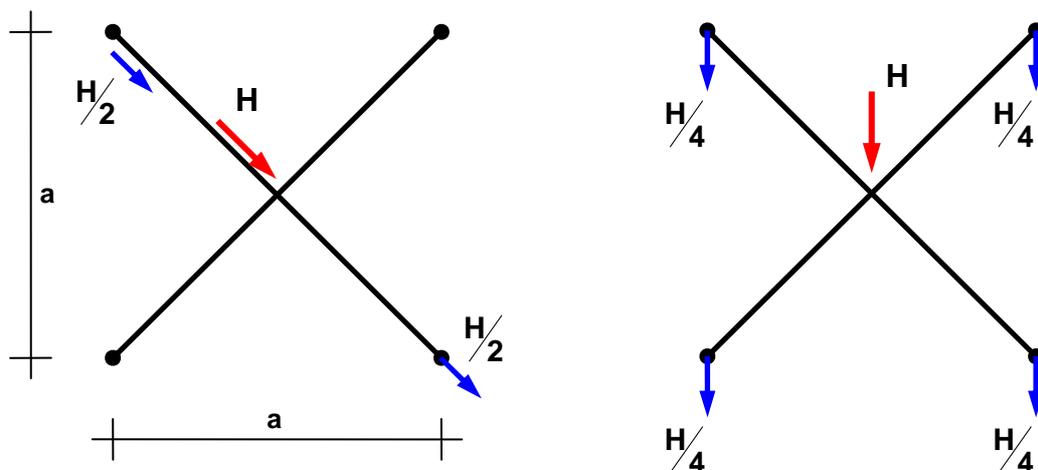


Abb. 3 – Horizontalkraft infolge der globalen Horizontalkraft H

Berechnungsmitteilung 0006

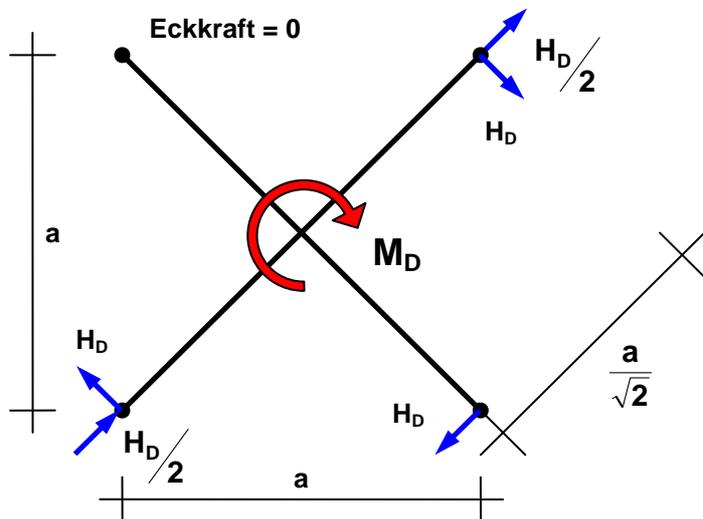
Die maximale charakteristische Horizontalkraft am Aufstandspunkt infolge der Kombination Drehmoment M_D und Horizontalkraft H ergibt sich bei einer 4-Punkt-Lagerung wie folgt.

$$\max H_{k,4} = \sqrt{H_{D,k,4}^2 + \left(\frac{H}{2}\right)^2}$$

3-Punkt-Lagerung bei einer stationären Aufstellung auf Fundamentplatten oder Ankerschrauben

Folgende Voraussetzungen müssen gegeben sein:

- Der Eckdruck ist so klein (oder nicht vorhanden), dass keine H-Kraft über Reibung aufgenommen werden kann und
- keine schubsteife Verbindung an den Unterwagen-Eckpunkten vorhanden ist.



Charakteristische Horizontalkraft infolge Drehmoment (M_D) inkl. Erhöhungsfaktor 1,50:

$$H_{D,k,3} = 1,5 \cdot \frac{M_D}{3 \cdot \frac{a}{\sqrt{2}}} = 0,71 \cdot \frac{M_D}{a}$$

Anm.: Falls die Aufstandspunkte kein Quadrat bilden, kann auf der sicheren Seite liegend mit der kleineren Seitenlänge gerechnet werden.

Abb. 4 – Horizontalkraft infolge des Drehmoments M_D

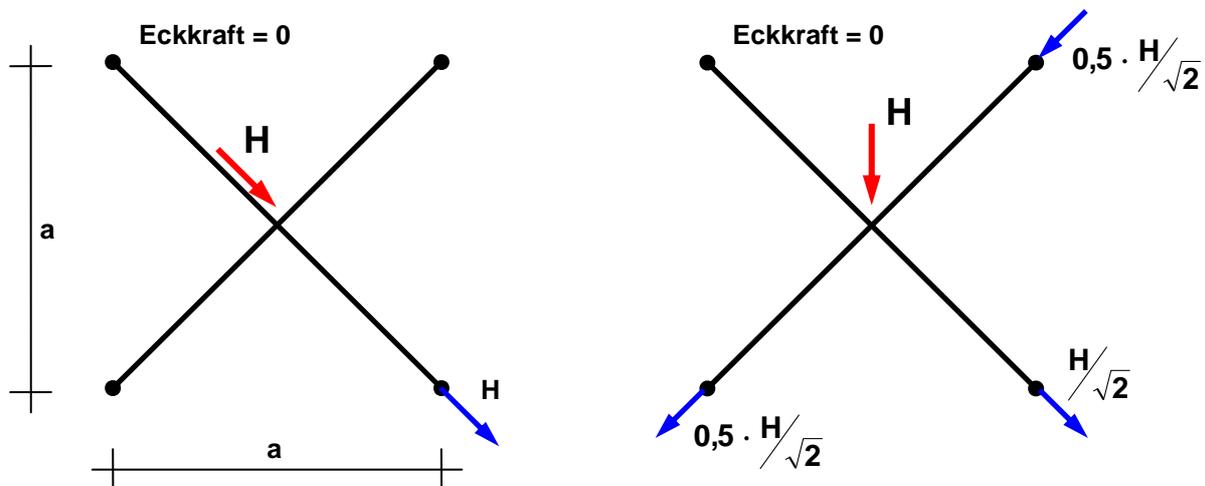


Abb. 5 – Horizontalkraft infolge der globalen Horizontalkraft H

Berechnungsmitteilung 0006

Die maximale charakteristische Horizontalkraft am Aufstandspunkt infolge der Kombination Drehmoment M_D und Horizontalkraft H ergibt sich bei einer 3-Punkt-Lagerung wie folgt.

$$\max H_{k,3} = \sqrt{H_{D,k,3}^2 + H^2}$$

3-Punkt- oder 4-Punkt-Lagerung bei schienenfahrbaren Kranaufbauten

Bei veränderten Randbedingungen, wie z. B. bei einem fahrbaren Aufbau auf Schienen, sind andere Übertragungsmodelle anzuwenden. Diese sind unter Berücksichtigung der vorherrschenden Lagerbedingungen, z. B. H-Kraft-Abtragung senkrecht zur Schiene, entsprechend herzuleiten.

2-Punkt-Lagerung bei stationären oder schienenfahrbaren Kranaufbauten

In besonderen Fällen kann es vorkommen, dass lediglich 2 Aufstandspunkte für die Abtragung des Drehmoments und der H-Kraft herangezogen werden können (siehe auch Kap. 3.1.3). In diesen Fällen sind unabhängig von den Angaben in der Betriebsanleitung in jedem Fall umlaufend Randträger einzubauen. Außerdem sind bei stationären Aufbauten planmäßig schubsteife Verbindungen an den Unterwagen-Eckpunkten vorzusehen. Ist dies nicht möglich oder konstruktiv nicht vorgesehen, ist mit dem Hersteller Rücksprache zu halten.

3.1.2 Kranaufbau auf Einzelfundament mittels Fundamentanker

Für die Gründung von Kranen auf Blockfundamenten existieren derzeit keine speziellen Vorschriften. Die hier dargestellte Vorgehensweise ist eine Empfehlung der Firma Liebherr. Die Verantwortung für die fachgerechte Planung und Ausführung der Gründung obliegt dem Kranbetreiber.

In den Fundamentbelastungstabellen für Liebherr-Turmdrehkrane sind alle Einwirkungen (z. B. Eigengewicht, Hublast, Katzfahren, Wind, etc.) zu einer resultierenden Belastung zusammengefasst. Bei den angegebenen Belastungen handelt es sich, wie bei den Eckdrücken, um charakteristische Kräfte und Momente. Eine Aufteilung der Belastungen in ständige Anteile (Eigengewicht) und veränderliche (z. B. Nutzlast, Massenkräfte, Wind, etc.) erfolgt nicht.

Durch die bereits oben beschriebene beliebige Drehung des Kranoberteils um 360° kann auch hier von keiner „quasi ständigen“ Belastung ausgegangen werden (siehe Kap. 3.1.1).

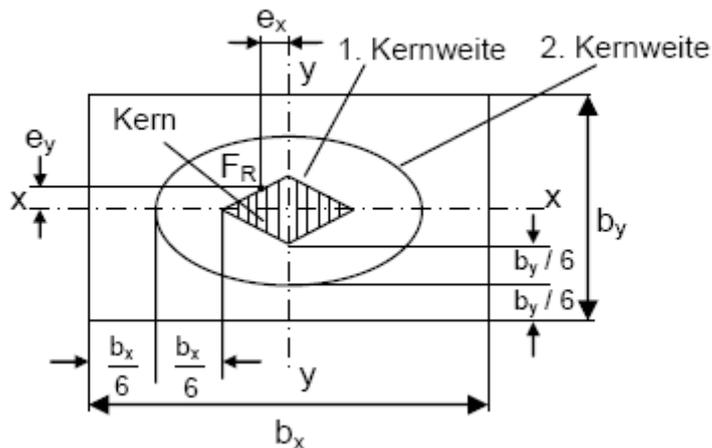
3.1.2.1 Nachweis der Standsicherheit (Kippnachweis)

Da es sich bei Kranen in aller Regel um temporäre Bauwerke handelt, kann davon ausgegangen werden, dass bei Flächengründungen eine „klaffende Fuge“ zulässig ist. Lediglich bei sehr niedrigen Aufbauhöhen und/oder einer dauerhaften Kranaufstellung, z. B. beim Einsatz eines Turmdrehkrans als Lagerplatzkran, empfehlen wir für den Lastfall „Kran in Betrieb“ die Ausbildung des Fundamentes ohne klaffende Fuge. Dabei muss die resultierende Druckkraft innerhalb der 1. Kernfläche der Gründungssohle verbleiben.

Zur Auslegung der Fundamentgröße, Nachweis der Standsicherheit, sind die charakteristischen Fundamentbelastungen gemäß den Angaben der Bedienungsanleitung heranzuziehen. Das Kippkriterium wird anhand der zulässigen Außermittigkeit der resultierenden Kraft F_R in der Sohlfläche nachgewiesen. Die sich hieraus ergebende Bodenpressung muss vom anstehenden Baugrund sicher aufgenommen werden können. Der Nachweis gegen Kippen ist für alle Lastfälle (Kran in Betrieb, Kran außer Betrieb und Kran während der Montage) zu führen.

Berechnungsmitteilung 0006

Anm.: Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass bei Kranaufbauten auf Einzelfundament, unter Beachtung der zulässigen Außermittigkeit, eine höhere Standsicherheit vorliegt, als bei Kranaufbauten auf Unterwagen oder Fundamentkreuz! Die zulässige Außermittigkeit wird eingehalten, wenn sich die resultierende Druckkraft innerhalb der 2. Kernfläche der Gründungssole befindet und dabei mindestens die halbe Sohlfläche an der Druckübertragung teilnimmt.



Nachweis, dass F_R sich innerhalb der 1. Kernweite befindet (keine klaffende Fuge):

$$\frac{e_x}{b_x} + \frac{e_y}{b_y} \leq \frac{1}{6}$$

Nachweis, dass F_R innerhalb der 2. Kernweite liegt (klaffende Fuge bis maximal zur Fundamentmitte):

$$\left(\frac{e_x}{b_x}\right)^2 + \left(\frac{e_y}{b_y}\right)^2 \leq \frac{1}{9}$$

Abb. 6 – Zulässige Außermittigkeit und Kippen

Mit den charakteristischen Belastungen ist auch die Setzung der Gründung zu überprüfen. Für Turmdrehkrane wird seitens der Firma Liebherr allgemein eine maximale Schiefstellung von 2‰ zugrunde gelegt.

Anm.: Bedienungsanleitung des Krans bzw. Herstellervorgaben beachten!

3.1.2.2 Fundamentbemessung mit Teilsicherheits-Konzept

Seitens der Baustelle sind die Nachweise der Tragfähigkeit der Gründung zu führen. Das Fundament muss in der Lage sein, die durch die Fundamentanker eingetragenen Kräfte sicher in den Baugrund abzuleiten. Der Nachweis des Fundamentankers ist bauseits nicht zu führen, da dieser, sofern es sich um einen Original-Fundamentanker handelt, zum Kran gehört und in der EG-Konformitätserklärung des Herstellers eingeschlossen ist. Die bei der Bemessung notwendigen Geometrieparameter der Fundamentanker (Einbindelänge, zulässiger Ankerüberstand, etc.) sind der Baustelle vom Kranbetreiber zu liefern bzw. können der Bedienungsanleitung des Krans entnommen werden.

Sofern die Stahlbetonbemessung des Fundamentes nach dem Konzept der Grenzzustände unter Verwendung von Teilsicherheiten erfolgt, empfehlen wir folgende Vorgehensweise.

Die in den Fundamentbelastungstabellen angegebene Vertikalkraft ist in den Lastfällen Kran außer Betrieb und Montage das Eigengewicht der Kranstruktur (Turm und drehbarer Oberkran) und kann somit als ständiger Lastanteil angesetzt werden. Im Lastfall Kran in Betrieb setzt sich die Vertikalkraft aus Eigengewicht und Hublast zusammen. Da der Anteil aus Hublast im Verhältnis zum Eigengewicht des Krans relativ gering ist, kann aus Gründen der Vereinfachung auch in Betrieb die komplette V-Kraft als Eigengewicht betrachtet werden.

Berechnungsmitteilung 0006

Weil das Gewicht der Kranstruktur durch die industrielle Fertigung genau bekannt ist und kaum Schwankungen unterworfen ist, ist ein Teilsicherheitsbeiwert kleiner 1,0, auch bei günstiger (entlastender) Wirkung, nicht anzusetzen (vgl. EN 13001-2, Tab. 7).

Das Biegemoment und die Horizontalkraft sind, wie beim Standsicherheitsnachweis argumentiert, als Verkehrslasten zu berücksichtigen.

Für konventionelle Blockfundamente werden in Anlehnung an die Bemessungsnormen für Turmdrehkrane folgende Teilsicherheiten für die Verkehrslasten (M und H) empfohlen:

- Lastfall Kran in Betrieb: $\gamma_Q = 1,50$ ¹
- Lastfall Kran außer Betrieb, Sturm von hinten: $\gamma_Q = 1,35$
- Lastfall Kran außer Betrieb, Sturm von vorne: $\gamma_Q = 1,22$
- Lastfall Kran während der Montage: $\gamma_Q = 1,35$

Anm.: Da in älteren Dokumentationen nur die jeweils größere Fundamentbelastung der Lastfälle „Sturm von hinten“ und „Sturm von vorne“ dargestellt wurde, sollte hier immer von der ungünstigeren Annahme ausgegangen werden.

Das Drehmoment des Kranes M_D kann für konventionelle Flächengründungen im Allgemeinen vernachlässigt werden. Bei querkraftempfindlichen Gründungen (z. B. Bohrpfählen) ist das Drehmoment analog der Gründung auf Unterwagen anzusetzen (siehe Kap. 3.1.1).

In Anlage A ist ein ausführliches Bemessungsbeispiel für konventionelle Blockfundamente aufgeführt.

¹ Erläuterung zur Herleitung der empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerte anhand Tab. 3 und Tab. 4 für den Lastfall „Kran in Betrieb“

Globaler Sicherheitsbeiwert für Kran: $\gamma_f = 1,34$

Ein dynamischer Zuschlag ist für konventionelle setzungsunempfindliche Flächengründungen nicht erforderlich, da nur sehr kurze Einwirkzeiten vorliegen: $\phi_{(\text{dyn.})} = 1,0$

Zuschlag für Th.2.O. – Annahme eines „hohen Aufbaus“: $\phi_{(\text{Th.2.O.})} = 1,10$

Zuschlagsfaktor für „Über-Eck-Belastung“; bei quadratischem Fundament mit Außenkanten parallel zum Kranturm nicht erforderlich bzw. maßgebend: $\phi_{(\blacklozenge)} = 1,0$

Teilsicherheitsbeiwert Lastfall „Kran in Betrieb“: $\gamma_Q = \gamma_f * \phi_{(\text{dyn.})} * \phi_{(\text{Th.2.O.})} * \phi_{(\blacklozenge)} \approx 1,50$

Diese Vorgehensweise ist zwar etwas unsauber, da Faktoren zur Erhöhung der charakteristischen Belastungswerte mit Teilsicherheitsbeiwerten vermischt werden. Sie bietet jedoch den Vorteil, dass die Angaben aus der Bedienungsanleitung des Krans unmittelbar für den Standsicherheitsnachweis (z. B. Kippen) und die Fundamentbemessung herangezogen werden können.

3.1.3 „Problematische Kran Gründungen“

Bei „problematischen Kran Gründungen“, z. B. bei Kranaufbauten auf

- Stahlunterkonstruktionen, auch bauseitige Portalkonstruktionen (s. Anlage B),
- Bohrpfahlgründungen oder kombinierten Pfahl-Plattengründungen,
- Gründungen in unmittelbarer Nähe von Baugruben, Böschungen oder Geländesprüngen,
- setzungsempfindlichem Untergrund,
- etc.,

empfehlen wir generell einen dynamischen Zuschlagsfaktor von 1,10 im Zustand „Kran in Betrieb“ zu verwenden. Außerdem ist hier insbesondere auch die Belastungssituation einer Kranstellung über Eck zu beachten, sofern diese einen Einfluss auf die Gründung, z. B. bei der Ermittlung der minimalen und maximalen Bohrpfahlbelastung, haben. Besondere Aufmerksamkeit sollte hierbei auch auf die Abtragung des Kran-Drehmomentes M_D gelegt werden. Die Vorgehensweise ist analog dem Kap. 3.1.1 unter Berücksichtigung des dynamischen Erhöhungsfaktors von 1,5.

Um keine unwirtschaftliche Unterbauten zu erzeugen, empfehlen wir die Zustände der Gebrauchstauglichkeit (z. B.: Kippen, Setzungen, Verformungen, Prüfung auf Zugpfähle, etc.) grundsätzlich mit charakteristischen Belastungen, inklusive den entsprechenden Zuschlagsfaktoren nach Tab. 4, nachzuweisen.

Die maximal zulässige Schiefstellung von 2‰ ist auch bei derartigen Aufbauten unbedingt einzuhalten.

3.2 Turmkombinationen und Einsätze mit Sondernachweis

Für von der Betriebsanleitung oder von sonstigen aus dem Hause Liebherr stammenden Handbüchern abweichende Kraneinsätze, die eine statische Untersuchung erfordern, werden im Bedarfsfall die erforderlichen Ausarbeitungen im Rahmen unseres Dienstleistungsangebotes erstellt.

Sämtliche Kranturmkombinationen aus dem Hause Liebherr sind in statischer Hinsicht überprüft, die Standsicherheit ist gewährleistet. Bei Realisierung eines entsprechenden Kranaufbaus ist die Bedienungsanleitung des jeweiligen Kranes auch weiterhin zu beachten.

Die EG-Konformitätserklärung des jeweiligen Kranes umfasst auch alle nachträglich erstellten Konfigurationen. Dabei kann es sich um Aufbauten handeln, die für alle Auslegerlängen oder auch nur für eine Auslegerlänge gültig sind.

Ergänzende Informationen zu diesem Thema finden sich in der Technischen Information TI 698-10 – Konformitätserklärung.

3.3 Sonderlasten (z. B. Erdbeben)

Sonderbelastungen, wie z.B. Erdbeben oder Eisansatz, sind in den Belastungsangaben der Betriebsanleitung nicht enthalten. Für derartige Einsätze sind jeweils Sonderberechnungen im Einzelfall anzufordern. Die erforderlichen Ausarbeitungen werden dabei im Rahmen unseres Dienstleistungsangebotes erstellt.

4. Frühere Ausgaben

keine

5. Änderungen

keine

6. Anlagen

Anlage A Beispiel zur Fundamentberechnung

Anlage B Beispiel – Kranaufbau auf Portalunterkonstruktion

Anlage A Beispiel zur Fundamentberechnung

In der Betriebsanleitung eines obendrehenden Turmdrehkrans ist in der Regel ein Beispiel zur Fundamentberechnung beigelegt.

Liebherr Krane sind gemäß EG-Maschinenrichtlinie gebaut und in Verkehr gebracht. Dies umfasst alle von uns gelieferten Komponenten und somit auch die Fundamentanker des Krans. Ein Nachweis der Fundamentanker ist bauseits daher nicht erforderlich. Die EG-Konformitätserklärung zum jeweiligen Kran finden Sie im zugehörigen Kranprüfbuch. Die CE-Kennzeichnung befindet sich am Kran.

Alle Komponenten erfüllen die statischen Anforderungen der anwendbaren harmonisierten Normen und nationalen Vorschriften, hier insbesondere DIN 15018-1 zusammen mit EN 1992-1-1, soweit anwendbar.

Eine bauaufsichtliche Zulassung ist, da es sich um ein maschinenbauliches Produkt handelt, damit nicht erforderlich.

Im Rahmen einer Diplomarbeit im Hause Liebherr ist ein alternativer Berechnungsvorschlag zur Bemessung eines Einzelfundaments erarbeitet worden, der mit einem veränderten Tragsystem helfen soll, die Unzulänglichkeiten des alten Berechnungsmodells zu vermeiden.

Da es sich um ein Beispiel handelt sind die geometrischen Parameter der Fundamentanker zu prüfen und die Fundamentbelastungen der zum Kranaufbau gehörenden Tabelle zu entnehmen.

Wir machen darauf aufmerksam, dass die Fundamentberechnung nur als Empfehlung anzusehen ist. Die Verantwortung über die Ausbildung des Fundamentes, unter Beachtung der örtlichen Gegebenheiten, der zul. Bodenpressung, etc. liegt beim Kranbetreiber.

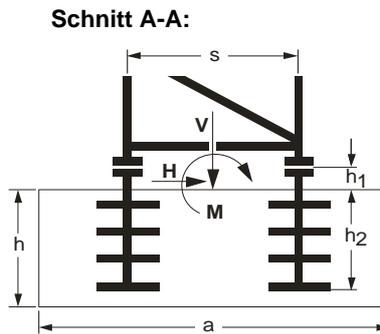
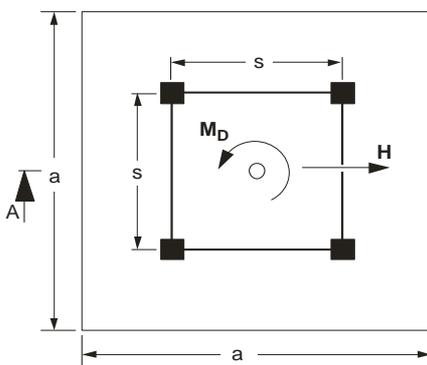
Beispiel zur Fundamentberechnung

Die nachfolgende Berechnung ist ein Empfehlung der Firma Liebherr-Werk Biberach GmbH zur Auslegung von Einzelfundamenten für Turmdrehkrane.

Die in diesem Beispiel verwendeten Fundamentbelastungen sind rein theoretisch. Die tatsächlichen Fundamentbelastungen sind der Bedienungsanleitung des entsprechenden Krans zu entnehmen. Die Stahlbetonbemessung im nachfolgenden Beispiel entspricht hinsichtlich den verwendeten Formeln, Formelzeichen, Bemessungswerte, etc., den Begriffen und der Vorgehensweise nach EN 1992-1-1. Die nationalen Vorgaben und Anhänge zu dieser Norm (NAD) sind baustellenbezogen entsprechend zu berücksichtigen.

Prinzipskizze Einzelfundament (vereinfachte Darstellung)

[Bild 1.1]



Turmsystem: 256HC
 Fundamentanker: C028.001-372.111

a = 7,700 m
 h = 1,400 m
 s = 1,980 m
 h₁ = 0,265 m
 h₂ = 1,135 m

Beton: C25/30
 γ_B = 25 kN/m³
 f_{ck} = 25 MN/m²

Baustahl: BSt 500
 f_{y,k} = 500 N/mm²

Baugrund: (zulässige Bodenpressung)

σ_{R,soil,k} = 250 kN/m²

Fundamentbelastungen (charakteristische Belastungswerte, Zahlenbeispiel)

Kran in Betrieb				Kran außer Betrieb						Kran in Montage		
M _D	M	H	V	Sturm von hinten			Sturm von vorne			M	H	V
[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]
480	5590	65	900	6170	150	850	6840	100	850	3910	50	630

Das Drehmoment (M_D) des Oberkranes (Schnitt-Torsionsmoment des Turmes) wird in diesem Beispiel vernachlässigt, da für übliche Flächengründungen nicht bemessungsrelevant. Das Drehmoment tritt in beiden Lastfällen "Kran in Betrieb" und "Kran in Montage" auf, ist hier jedoch nur im Lastfall "Kran in Betrieb" dargestellt. Grundsätzlich wird eine ausreichende Tragfähigkeit des Baugrunds unterstellt.

1. Nachweis des Fundaments gegen Kippen - Tragfähigkeit des Baugrunds

Der Tragfähigkeitsnachweis wird mit charakteristischen Belastungswerten geführt. (γ_{f,i} = 1,0)

Maßgebende Belastungen in der Fundamentsohle

Moment an der Bodenfuge: $M_{u,k} = M_k + H_k \cdot h$

Vertikalkraft an der Bodenfuge: $V_{u,k} = V_k + h \cdot a^2 \cdot \gamma_B$

Exzentrizität: $e = \frac{M_{u,k}}{V_{u,k}}$

Bodenpressungen bei Belastung parallel zu den Fundamentaussenkanten

charakteristische Bodenpressung:

dreiecksförmige Bodenpressung: $\sigma_{\text{soil, k}} = \frac{2 \cdot V_{u, k}}{3 \cdot (\frac{a}{2} - e) \cdot a}$ gültig für: $\frac{a}{6} < e \leq \frac{a}{3}$

trapezförmige Bodenpressung: $\sigma_{\text{soil, k}} = \frac{V_{u, k}}{a^2} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{a} \right)$ gültig für: $e \leq \frac{a}{6}$

Ergebnisse

	M _{u,k} [kNm]	H _{u,k} [kN]	V _{u,k} [kN]	e [m]	σ _{soil,k} [kN/m²]
In Betrieb	5681	65	2975	1,91	133
Sturm von hinten	6380	150	2925	2,18	152
Sturm von vorne	6980	100	2925	2,39	173
Montage	3980	50	2705	1,47	98

Kontrollen

Exzentrizität: $\frac{a}{6} < e_{\text{max}} \leq \frac{a}{3}$ a / 6 = 1,28 a / 3 = 2,57
 $e_{\text{max}} = 2,39$... klaffende Fuge tritt auf, OK.

Bodenpressung: $\frac{\sigma_{\text{soil, k}}}{\sigma_{R, \text{soil, k}}} \leq 1,0$ 0,69 ≤ 1,0 OK

Bodenpressungen bei Belastung "über Eck"

Es wird in diesem Beispiel unterstellt, dass die Belastungen über Eck dieselben Werte haben wie bei Parallelstellung. (Siehe hierzu die Hinweise in den allgemeinen Angaben bzgl. Krangründungen.)

Für ein quadratisches Fundament gilt: $M_x = M_y = \frac{M_{u, k}}{\sqrt{2}}$
 $e_x = e_y = \frac{M_x}{V_{u, k}} = \frac{M_y}{V_{u, k}}$

Seitenlänge des Ersatzquadrates: $a' = a - 2 \cdot e_x$

Bodenpressung unter Ersatzquadrat: $\sigma_{\text{soil, k}} = \frac{V_{u, k}}{(a')^2}$ (konstante Bodenpressung)

Ergebnisse

	M _x =M _y [kNm]	H _x =H _y [kN]	V _{u,k} [kN]	e _x =e _y [m]	σ _{soil,k} [kN/m²]
In Betrieb	4017	46	2975	1,35	119
Sturm von hinten	4511	106	2925	1,54	137
Sturm von vorne	4936	71	2925	1,69	156
Montage	2814	35	2705	1,04	86

$\frac{\sigma_{\text{soil, k}}}{\sigma_{R, \text{soil, k}}} \leq 1,0$

Aus Darstellungsgründen wird hier auf eventuell zusätzlich erforderliche Nachweise bzgl. der Gründung nicht eingegangen. Diese zusätzlichen Nachweise (Grundbruch, Gleitwiderstand, Auftrieb, etc.) sind bauseits entsprechend den Baugrundverhältnissen und gültigen Normen zu führen.

2. Biegebemessung des Einzelfundaments nach EN 1992-1-1

Bemessungswerte der Einwirkungen

In diesem Beispiel wird davon ausgegangen, dass die Fundamentbelastungen nach Theorie I. Ordnung (EN 14439:2009, DIN 15019, FEM 1.005) vorliegen.

Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte bei Fundamentbelastungen nach Theorie I. Ordnung

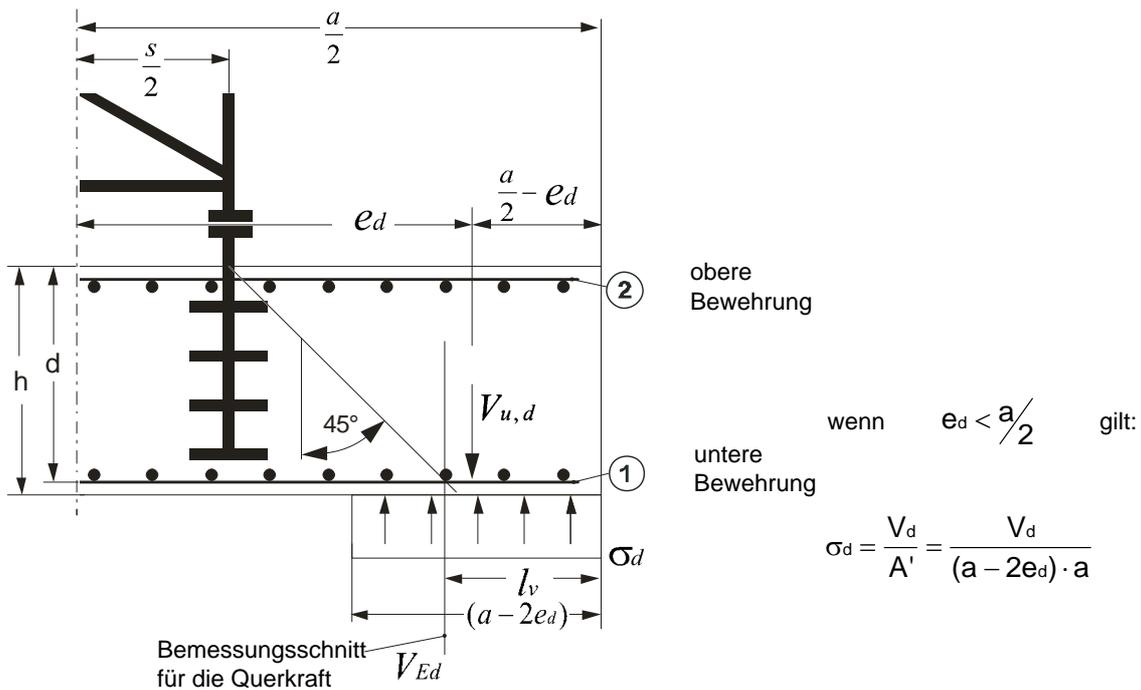
	M γ_Q	H γ_Q	V _{günstig} $\gamma_{G,sup}$	V _{ungünstig} $\gamma_{G,inf}$
In Betrieb	1,50	1,50	1,00	1,35
Sturm von hinten	1,35	1,35	1,00	1,22
Sturm von vorne	1,22	1,22	1,00	1,10
Montage	1,35	1,35	1,00	1,22

Siehe hierzu die Hinweise in den allgemeinen Angaben bzgl. Krangründungen.

Bemessungsschnittgrößen an der Fundamentunterseite

Prinzipskizze zum Bemessungsansatz Fundamentplatte

[Bild 2.1]



Bemessungsschnittgrößen

	M _{u,d} [kNm]	H _{u,d} [kN]	V _{u,sup,d} [kN]	V _{u,inf,d} [kN]	e _{sup,d} [m]	e _{inf,d} [m]	A' _{sup,d} [m ²]	A' _{inf,d} [m ²]	$\sigma_{sup,d}$ [kN/m ²]	$\sigma_{inf,d}$ [kN/m ²]
In Betrieb	8522	98	2975	4016	2,86	2,12	15,2	26,6	196	151
Sturm von hinten	8613	203	2925	3569	2,94	2,41	13,9	22,1	210	161
Sturm von vorne	8516	122	2925	3218	2,91	2,65	14,5	18,5	202	174
Montage	5373	68	2705	3300	1,99	1,63	28,7	34,2	94	96

Bemessungsmomente am Turmanschnitt

Bedingung: $\frac{s}{2} \leq e_d < \frac{a}{2}$

für untere Bewehrung gilt: $M_{c,1,d} = \frac{V_{u,d}}{a} \cdot \left(e_d - \frac{s}{2} \right) - \gamma_G \cdot \gamma_B \cdot h \cdot \frac{\left(\frac{a-s}{2} \right)^2}{2}$

für obere Bewehrung gilt: $M_{c,2,d} = \gamma_G \cdot \gamma_B \cdot h \cdot \frac{\left(\frac{a-s}{2} \right)^2}{2}$

Ergebnisse

	$M_{c,1,sup,d}$ [kNm/m]	$M_{c,1,inf,d}$ [kNm/m]	$M_{c,2,sup,d}$ [kNm/m]	$M_{c,2,inf,d}$ [kNm/m]
In Betrieb	581	397	143	193
Sturm von hinten	599	485	143	175
Sturm von vorne	587	535	143	157
Montage	207	99	143	175

Maßgebende Bemessungsmomente

untere Bewehrung: **max $M_{c,1,d} = 599$ kNm/m**

obere Bewehrung: **max $M_{c,2,d} = 193$ kNm/m**

Biegebemessung Fundamentplatte mittels kd-Verfahren

Statische Höhe "d" des Fundamentes: $d \cong h - 10 \text{ cm}$ $d = 130$ [cm]

$k_d = \frac{d \text{ [cm]}}{\sqrt{\frac{M_{c,d} \text{ [kNm]}}{b \text{ [m]}}}}$ → k_s aus Bemessungsdiagramm → $a_s = k_s \cdot \frac{M_{c,d} \text{ [kNm]}}{d \text{ [cm]}}$

mit $b = 1,0 \text{ m}$ ergibt sich folgende Bewehrung (a_s) in cm^2/m

	k_d [m]	k_s [m]	$a_{s,req}$ [cm^2/m]
unten	5,31	2,35	10,83
oben	9,35	2,33	3,46

gewählte Bewehrung:

	\emptyset [mm]	s_a [cm]	$a_{s,exist}$ [cm^2/m]
unten	16	15	13,40
oben	10	15	5,24

Nachweis der Querkrafttragfähigkeit

Bemessungsquerkraft

Es wird davon ausgegangen, dass die außerhalb von einem Winkel von 45° angreifende Bodenpressung als Bemessungswert der Querkraft anzusetzen ist (siehe Bild 2.1).

Es gilt: $V_{Ed} = \sigma_d \cdot l_v$ mit $l_v = \frac{a}{2} - \frac{s}{2} - d$ → $l_v = 1,56$ [m]

	$V_{Ed,sup}$ [kN/m]	$V_{Ed,inf}$ [kN/m]	$l_{v,max,sup}$ [m]	$l_{v,max,inf}$ [m]
In Betrieb	306	235	1,97	3,46
Sturm von hinten	327	252	1,81	2,87
Sturm von vorne	316	271	1,88	2,41
Montage	147	150	3,73	4,44

jedoch $l_{v,max} = a - 2e_d$

max. $V_{ED} = 327$ kN/m

Querkraftwiderstand ohne Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,c} = (C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} \qquad C_{Rd,c} = \mathbf{0,12} \qquad \text{mit } \gamma_c = 1,5$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \qquad k = \mathbf{1,392} \qquad d \text{ in [mm]}$$

$$\rho_1 = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \leq 0,02 \qquad \rho_1 = \mathbf{0,0010}$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{ED}}{A_c} < 0,2 \cdot f_{cd} \qquad \sigma_{cp} = \mathbf{0} \qquad \text{da } N_{ED} = 0$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{1,5} \cdot \sqrt{f_{ck}} \qquad v_{min} = \mathbf{0,287}$$

$V_{Rd,c} = \mathbf{374} \text{ kN/m}$	>	$V_{ED} = \mathbf{327} \text{ kN/m}$... keine Querkraftbewehrung erforderlich.
--	---	--------------------------------------	--

3. Nachweis der lokalen Lasteinleitung durch den Fundamentanker

Ermittlung der maximalen Ankerkräfte

Sofern die maximalen Ankerkräfte nicht anderweitig angegeben sind, können diese näherungsweise aus den Fundamentbelastungen wie folgt ermittelt werden.

maximale Druckkraft (P_d): $|P_d| = \gamma_Q \cdot \frac{M_k}{s \cdot \sqrt{2}} + \gamma_G \cdot \frac{V_k}{4}$

maximale Zugkraft (T_d): $|T_d| = \gamma_Q \cdot \frac{M_k}{s \cdot \sqrt{2}} - \gamma_G \cdot \frac{V_k}{4}$

	P _{sup,d} [kN]	P _{inf,d} [kN]	T _{sup,d} [kN]	T _{inf,d} [kN]
In Betrieb	3219	3298	2769	2691
Sturm von hinten	3187	3234	2762	2715
Sturm von vorne	3193	3214	2768	2746
Montage	2043	2077	1728	1693

Maßgebende Ankerkräfte:

maximale Druckkraft: $P_{max,d} = \mathbf{3298} \text{ kN}$

maximale Zugkraft: $T_{max,d} = \mathbf{2769} \text{ kN}$

3.1 Durchstanznachweis nach EN 1992-1-1

Annahmen:

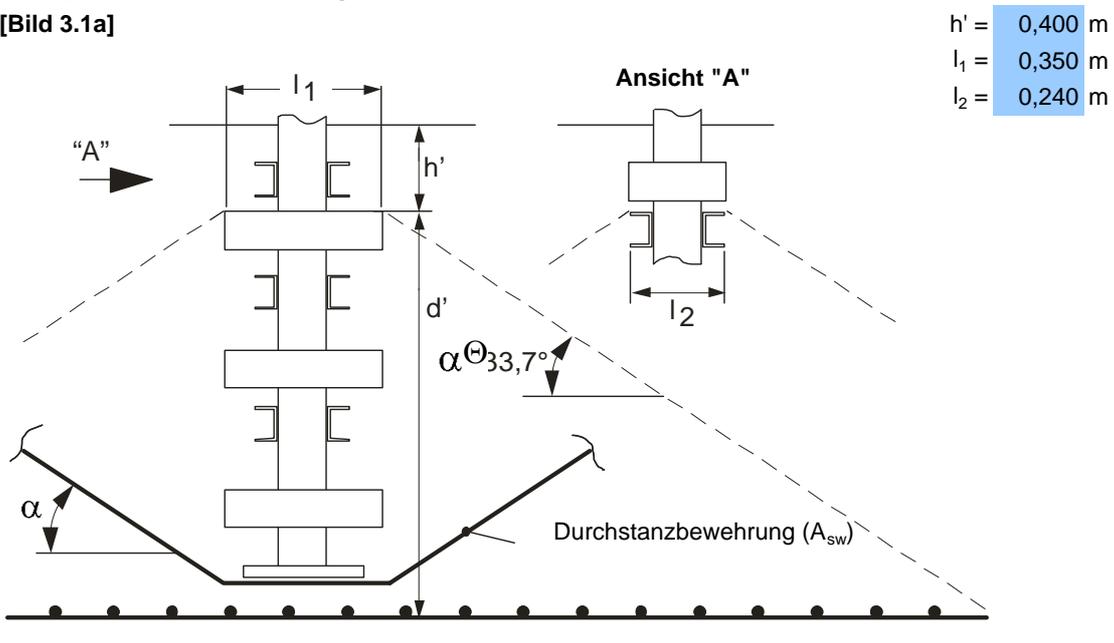
Der Durchstanzkegel breitet sich ab dem ersten langen Querprofil des Ankers aus. Die statische Höhe des Fundamentes wird für den Durchstanznachweis um die entsprechende Differenzhöhe reduziert. Da keine definierte gleichmäßige Bodenpressung unter dem Durchstanzkegel auftritt, wird ein Abzug der Bodenpressung nicht in Ansatz gebracht.

Der kritische Rundschnitt (u_1) wird im Abstand $1,5 \cdot d$ ($\theta = 33,7^\circ$) zur Lasteinleitungsfläche angenommen, maximal jedoch bis zur Fundamentaussenkante. (nationale Vorschriften beachten)

Da sich die Durchstanzkegel benachbarter Fundamentanker teilweise überschneiden und die Lasteinleitung nicht an Plattenoberkante erfolgt, ist die Anwendbarkeit dieser Nachweisform bauseits abzuklären.

Prinzipskizze zum Bemessungsansatz "Durchstanzan"

[Bild 3.1a]



Statische Höhe für den Durchstanznachweis:

$$d' = d - h' \quad d' = 0,90 \text{ m}$$

Kritischer Rundschnitt:

$$u_1 = 2 \cdot (l_1 + l_2) + 3 \cdot d' \cdot \pi \quad u_1 = 9,662 \text{ m}$$

Durchstanzwiderstand ohne Durchstanzbewehrung

Sofern im betrachteten Querschnitt keine Normalkraft auftritt ($\sigma_{cp} = 0$) gilt:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck}} \geq v_{min}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$$

$$C_{Rd,c} = 0,12 \quad \text{mit } \gamma_c = 1,50$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d'}} \leq 2,0$$

$$k = 1,471 \quad d \text{ in [mm]}$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1x} \cdot \rho_{1y}} = \sqrt{\frac{a_{sx} [\text{cm}^2/\text{m}]}{100 \cdot d' [\text{cm}]} \cdot \frac{a_{sy} [\text{cm}^2/\text{m}]}{100 \cdot d' [\text{cm}]}} \leq 0,02$$

$$\rho_1 = 0,0015$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{1,5} \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$v_{min} = 0,312 \text{ MN/m}^2$$

$$v_{Rd,c} = 0,274 \text{ MN/m} < v_{min} \rightarrow v_{Rd,c} = 312 \text{ kN/m}$$

Einwirkende Durchstanzkraft im kritischen Rundschnitt

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{P_{max,d}}{u_1 \cdot d'}$$

Annahme: $\beta = 1,00$, da über den Anker konstruktionsbedingt lediglich Normalkräfte eingetragen werden.

$$v_{Ed} = 379 \text{ kN/m} > v_{Rd,c} \rightarrow \dots \text{ Durchstanzbewehrung erforderlich.}$$

Auch wenn bei einigen Beispielberechnungen, die mit diesem Rechenblatt erstellt werden, theoretisch keine Durchstanzbewehrung erforderlich ist, wird nachfolgend immer so getan, als ob eine Durchstanzbewehrung notwendig ist, um die komplette Vorgehensweise darzustellen. Da die Anwendbarkeit des Durchstanznachweises (siehe Anmerkungen oben) nicht eindeutig geklärt ist, ist es auch fraglich, ob die Berechnung an dieser Stelle abgebrochen werden darf.

Grenzquerkraft am Stützenanschnitt

$$v_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$\text{mit } \gamma_c = 1,50$$

$$v_{Rd,max} = 4500 \text{ kN/m}^2$$

Querkräft am Stützenanschnitt:

$$v_{Ed,0} = \beta \cdot \frac{P_{max,d}}{u_0 \cdot d'} = \frac{P_{max,d}}{2 \cdot (l_1 + l_2) \cdot d'}$$

$$v_{Ed,0} = 3106 \text{ kN/m}^2$$

Querkräft < Grenzquerkräft, somit Ausführung mit Bewehrung zulässig.

Ermittlung der Durchstanzbewehrung

Durchstanzwiderstand mit Querkraftbewehrung:

$$V_{RD,cs} = 0,75 \cdot V_{RD,c} + 1,5 \cdot \left(\frac{d'}{s_r} \right) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \left(\frac{1}{u_1 \cdot d'} \right) \cdot \sin \alpha$$

für einreihig aufgebogene Stäbe gilt: $\frac{d'}{s_r} = 0,67$ somit ist: $1,5 \cdot \frac{d'}{s_r} = 1,00$

Die erforderliche Bewehrung ergibt sich durch Einsetzen der obigen Bedingung und Umstellung der Gleichung zu:

$$A_{sw} \geq (V_{RD,cs} - 0,75 \cdot V_{RD,c}) \cdot \frac{u_1 \cdot d'}{f_{ywd,ef} \cdot \sin \alpha} \quad \text{mit:} \quad f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d' \leq f_{ywd}$$

$V_{RD,cs} = V_{ED} = 0,379 \text{ N/mm}$

$V_{RD,c} = 0,312 \text{ N/mm}$

$f_{ywd,ef} = 435 \text{ N/mm}^2$

$u_1 = 9662 \text{ mm}$

$d' = 900 \text{ mm}$

$\alpha = 45^\circ$ (Winkel zwischen Durchstanzbewehrung und Plattenebene)

$A_{sw} \geq 4102 \text{ mm}^2$

$= 41,0 \text{ cm}^2$

gewählte Bewehrung:
 (2-schnittig) je Anker

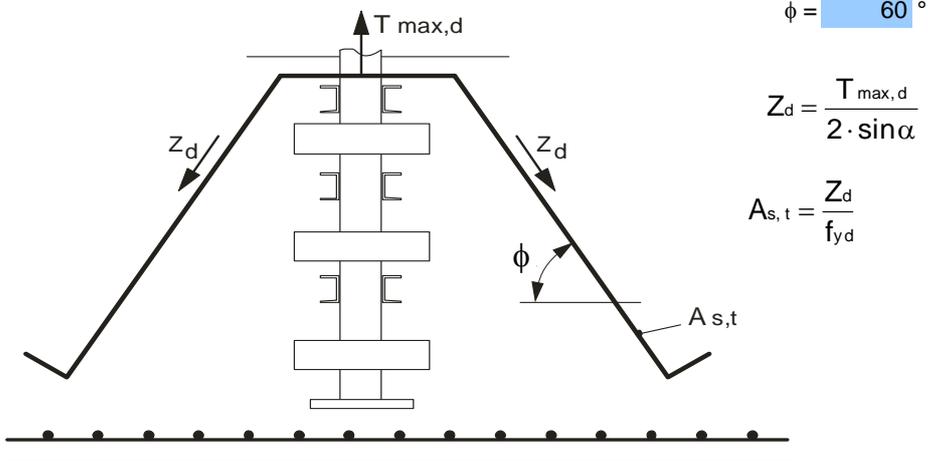
Ø [mm]	Anzahl [St.]	A _{sw} [cm ²]
20	8	50,3

Nachweis gegen Herausziehen des Fundamentankers

Die vom Anker eingeleitete maximale Zugkraft wird über Bewehrungszulagen rückverankert.

Prinzipskizze zur Zugverankerung

[Bild 3.1b]



$\phi = 60^\circ$

$$Z_d = \frac{T_{\max,d}}{2 \cdot \sin \alpha}$$

$$A_{s,t} = \frac{Z_d}{f_{yd}}$$

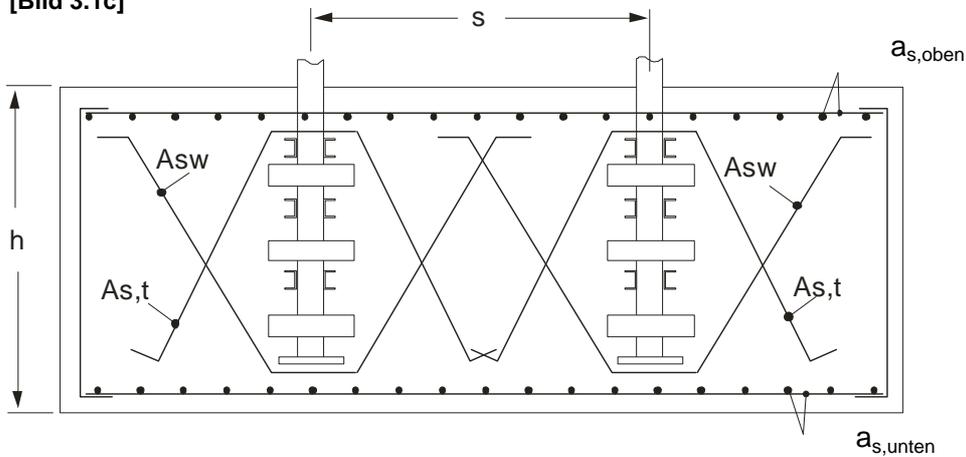
$Z_d = 1599 \text{ kN}$
 $A_{s,t} = 36,8 \text{ cm}^2$

gewählte Bewehrung:
 (je Fundamentanker)

\varnothing [mm]	Anzahl [St.]	$A_{s,t}$ [cm ²]
25	8	39,3

Prinzipskizze Bewehrungsführung "Durchstanzen" (vereinfachte Darstellung)

[Bild 3.1c]



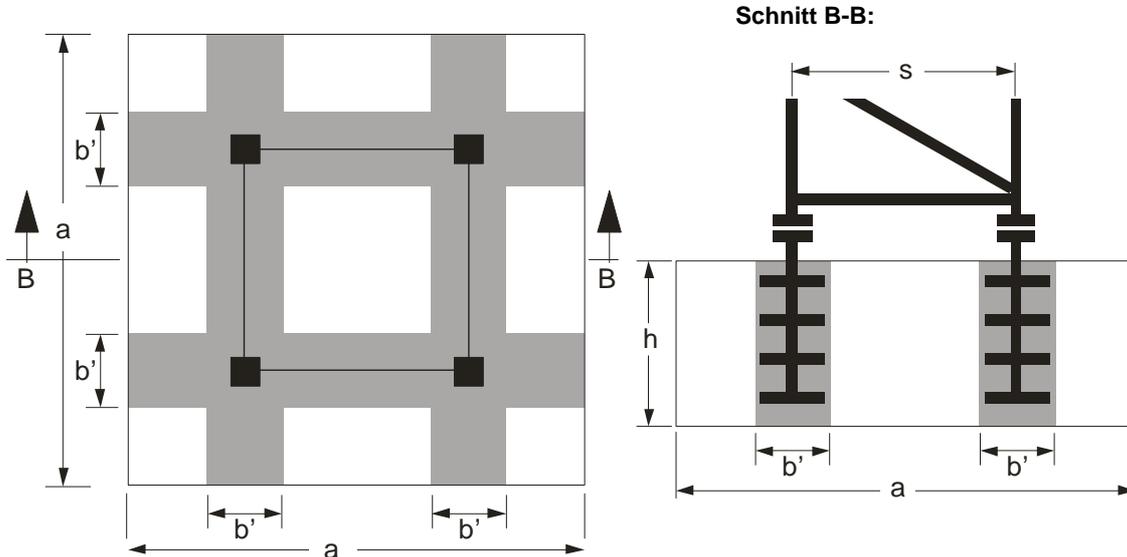
Vereinfachte Darstellung der Bewehrungsführung (Prinzipskizze).

Montageeisen, Abstandhalter, Randeinfassung, Übergreifungs- und Verankerungslängen, etc. sind bauseits festzulegen.

3.2 Balkenmethode - Alternativer Bemessungsvorschlag zum Durchstanznachweis

Nachweis über innere Tragbalken ("Balkenmethode")

Prinzipiskizze zur Balkenmethode: Grundriss und Schnitt B-B
 [Bild 3.2a]



Erläuterung der Balkenmethode

Da die Anwendbarkeit des Durchstanznachweises nach EN 1992 nicht klar geregelt ist (Lasteinleitung nicht an Plattenoberseite, Überschneidung von Durchstanzkegeln), wird hier eine alternative Bemessungsmöglichkeit dargestellt, welche zudem eine einfachere Bewehrungsführung ermöglicht.

Die Fundamentplatte wird dabei gedanklich in mehrere innere Tragbalken aufgeteilt, welche die komplette Lastabtragung (vor allem hinsichtlich der auftretenden Querkraft) übernehmen sollen (siehe Bild 3.2a).

Eine ausreichend gleichmäßige Lasteinleitung durch die Fundamentanker in die Tragbalken ist durch die angeschweißten Querprofile gewährleistet, ein direktes lokales Versagen kann daher ausgeschlossen werden.

Die statische Höhe der Tragbalken kann mit der statischen Höhe der Fundamentplatte gleichgesetzt werden. Die Balkenbreite (b') wird mit ca. 40% bis 50% des Maßes für das Turmsystem (s) angenommen. Somit ist eine Überschneidung der Tragbalken ausgeschlossen und eine klare Lastzuweisung je Balken gegeben. Maßgebend für die Bemessung ist, wie bei der Plattenbemessung, die Belastung parallel zu den Fundamentausenkanten.

Die Balkenbreite wird mit ca. 40% bis 50% des Turmsystems angenommen.

Balkenbreite: $b' \cong 0,4 \cdot s$ $b' = 0,792 \text{ m}$ gewählt: $b' = 0,80 \text{ m}$

Die Schnittgrößen der Plattenbemessung werden ausschließlich den zwei Tragbalken zugewiesen.

Bemessungsschnittgrößen des Balkens:

Bemessungsmoment: $M_{b,d} = M_{c,d} \cdot \frac{a}{2}$ unten: $M_{b,1,d} = 2307 \text{ kNm}$
 oben: $M_{b,2,d} = 744 \text{ kNm}$

Bemessungsquerkraft: $V_{b,Ed} = \max V_{Ed} \cdot \frac{a}{2}$ $V_{b,Ed} = 1260 \text{ kN}$

Biegebemessung mittels kd-Verfahren

Statische Höhe "d" der Tragbalken: $d \cong h - 10\text{cm}$ d = 130 cm

$$k_d = \frac{d \text{ [cm]}}{\sqrt{\frac{M_{b,d} \text{ [kNm]}}{b' \text{ [m]}}}} \quad \rightarrow k_s \text{ aus Bemessungsdiagramm} \quad \rightarrow \quad A_s = k_s \cdot \frac{M_{b,d} \text{ [kNm]}}{d \text{ [cm]}}$$

	k_d [m]	k_s [m]	$A_{s,req}$ [cm ²]
unten	2,42	2,46	43,68
oben	4,26	2,35	13,45

gewählte Bewehrung:

	Ø [mm]	Anzahl [St.]	$A_{s,b}$ [cm ²]
unten	20	10	31,4
oben	14	6	9,2

Es wird nicht der komplette Anteil der theoretisch erforderlichen Biegebewehrung des Tragbalkens in den gewählten Querschnitt eingelegt, da die Platte auf Biegetragfähigkeit mit berücksichtigt werden kann und eine gewisse Flächenbewehrung beibehalten werden muss. Zur Berücksichtigung der Querkrafttragfähigkeit des Ersatzbalkens kann jedoch nur der eingelegte Bewehrungsquerschnitt angesetzt werden.

Ermittlung der übrigen Plattenbewehrung

$$\Delta a_s = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{a_{s,req} \cdot a - 2 \cdot A_{s,b}}{a - 2 \cdot b'} \\ \frac{2 \cdot A_{s,req} - 2 \cdot A_{s,b}}{a - 2 \cdot b'} \end{array} \right. \quad a_{s,req} \text{ aus Biegebemessung Platte (siehe Punkt 2)}$$

gewählte Bewehrung:

	Δa_s [cm ² /m]	Ø [mm]	s_a [cm]	$a_{s,exist}$ [cm ² /m]
unten	4,02	10	15	5,24
oben	1,38	8	15	3,35

Querkraftbemessung der Tragbalken

Querkrafttragfähigkeit ohne Schubbewehrung ($\sigma_{cp} = 0$)

$$V_{Rd,c} = (C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck}}) \cdot b' \cdot d \geq (v_{min}) \cdot b' \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$$

$C_{Rd,c} = 0,12$ mit $\gamma_c = 1,5$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

$k = 1,392$ d in [mm]

$$\rho_1 = \frac{A_{s,b}}{b' \cdot d} \leq 0,02$$

$\rho_1 = 0,0030$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{1,5} \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$v_{min} = 0,287 \text{ MN/m}^2$

$V_{Rd,c} = 341 \text{ kN}$	<	$V_{b,ED}$	→	... Querkraftbewehrung erforderlich!
-----------------------------	---	------------	---	---

Maximale Querkrafttragfähigkeit mit vertikaler Schubbewehrung

$$V_{Rd, max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b' \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$\theta = 40^\circ$ (Neigung der Betondruckstreben)
 $\alpha_{cw} = 1,00$

$$v_1 = v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

$z = 0,9 \cdot d$ $z = 1,17 \text{ m}$
 $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$ $f_{cd} = 16,67 \text{ MN/m}^2$
 $v_1 = 0,54 \text{ MN/m}^2$

$V_{Rd, max} = 4148 \text{ kN} > V_{b, Ed} \rightarrow \dots \text{Ausführung mit Schubbewehrung zulässig.}$

Erforderliche Schubbewehrung

$$a_{sw} = \frac{V_{b, Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}$$

mit: $f_{ywd} = \frac{f_{y, k}}{\gamma_s}$ und $\gamma_s = 1,15$

$a_{sw} = 20,78 \text{ cm}^2/\text{m}$

gewählte Bewehrung:
 (4-schnittig)

	\varnothing [mm]	s_a [cm]	a_{sw} [cm ² /m]
Bügel	10	15	20,94

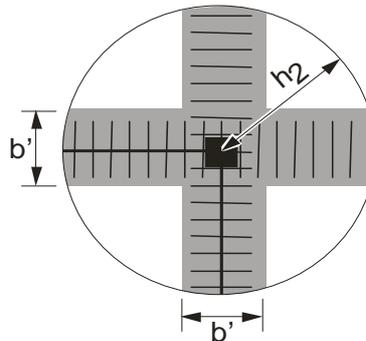
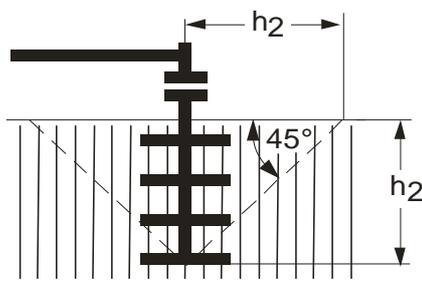
Die Querkraftbewehrung kann entsprechend dem Verlauf der Querkraft gestaffelt werden, dies wir hier aus Gründen der Vereinfachung jedoch nicht berücksichtigt.

Kontrolle der ausreichenden Auszugsbewehrung des Ankers

Unter Annahme einer Lastausbreitung von 45° der Zugkraft von der Unterkante des Ankers, können die vertikalen Schenkel der Schubbewehrung als Auszugsbewehrung berücksichtigt werden.

Prinzipische Skizze zur Zugverankerung

[Bild 3.2b]



$$A_{s, exist} = \eta \cdot h_2 \cdot a_{sw} \cdot 4$$

$$\eta = 1,0 - s_a \quad s_a \text{ [m]}$$

η Faktor zur Berücksichtigung des Bewehrungsabstandes.

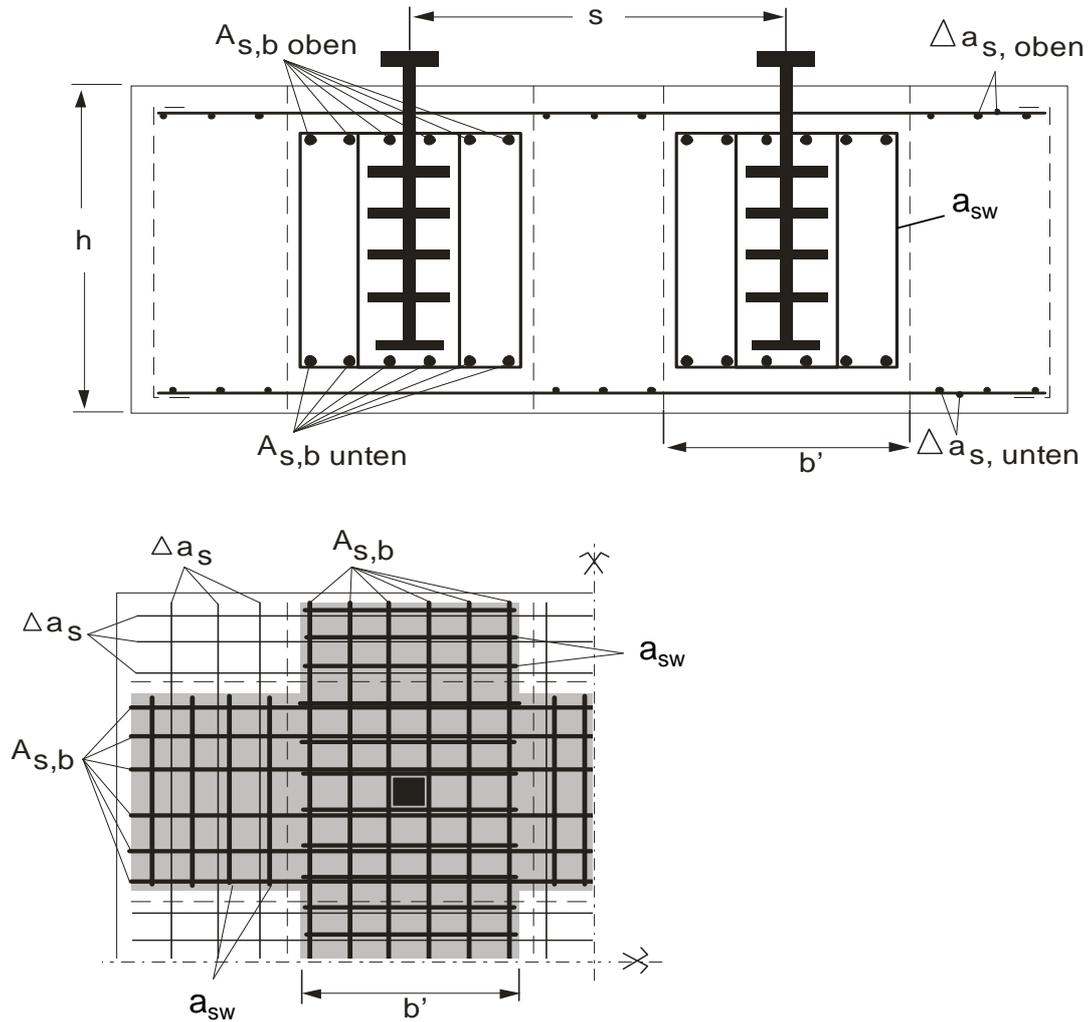
Erforderliche Auszugsbewehrung:

$$A_{s, req} = \frac{T_{max, d}}{f_{yd}}$$

$A_{s, exist} = 80,8 \text{ cm}^2$

$A_{s, req} = 63,7 \text{ cm}^2 < A_{s, exist} \rightarrow \text{OK!}$

Prinzipskizze Bewehrungsführung "Balkenmethode" (vereinfachte Darstellung)
 [Bild 3.2c]



Vereinfachte Darstellung der Bewehrungsführung (Prinzipskizze).
 Montageeisen, Abstandhalter, Randeinfassung, Übergreifungs- und Verankerungslängen, etc. sind bauseits festzulegen.

Berechnungsmitteilung 0006

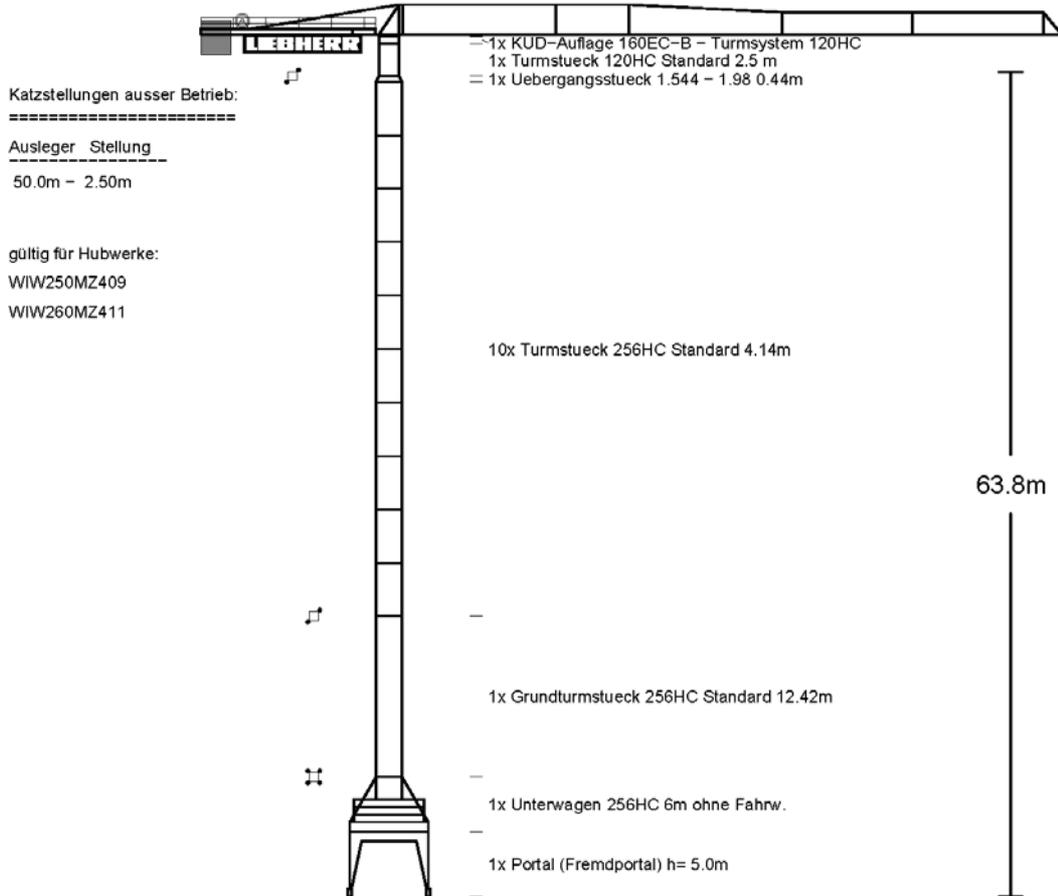
Anlage B Beispiel 1 – Kranaufbau auf Portalunterkonstruktion

LIEBHERR-WERK BIBERACH

12.08.2011 16:51:15
prsV1.41tpV3.08
00187801 mab1

160EC-B8 Litronic
nach EN14439: 2009 – Windzone C25

ohne Klettereinrichtung



Eckdruecke an Oberkante Portal

Hakenhoehe: 63.80 m Spur: 6.00 m Radstand: 6.00 m st93dV1.50:EN14439:ce25:C:w12:n5:sta

Aus-ladung [m]	MD [kNm]	Zentralballast [to]	Eckdruecke in Betrieb [kN]					H.-kraft [kN]	Eckdruecke Sturm von hinten [kN]				MD = 0 H.-kraft [kN]
			Ecke	Auslegerstellung			Ecke		Auslegerstellung				
50.00	238	110.780	A	1	2	3	53	A	1	2	3	158	
			B	488	704	273		B	376	844	100		
			C	802	704	704		C	1136	844	844		
			D	488	273	704		D	376	100	844		
				175	273	273		D	0	100	100		

Aus-ladung [m]	MD [kNm]	Zentralballast [to]	Eckdruecke in Montage [kN]					H.-kraft [kN]	Eckdruecke Sturm von vorne [kN]				MD = 0 H.-kraft [kN]
			Ecke	Montagefall			Ecke		Auslegerstellung				
50.00	238	110.780	A	1	2	3	19	A	1	2	3	106	
			B	173	296	50		B	360	81	863		
			C	347	296	296		C	0	81	81		
			D	173	50	296		D	360	863	81		
				0	50	50		D	1166	863	863		

Berechnungsmitteilung 0006

Beispiel 2 – Kranaufbau auf Portalunterkonstruktion

LIEBHERR-WERK BIBERACH

17.08.2011 11:42:36
 prsV1.41tpV3.08
 00187889 krm1

250EC-B12 Litronic
 nach EN14439: 2009 – Windzone C25

ohne Klettereinrichtung

Katzstellungen ausser Betrieb:
 =====

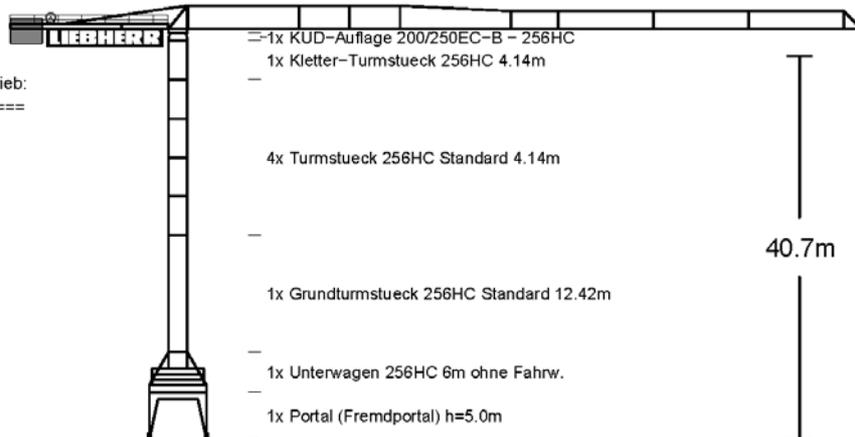
Ausleger Stellung

70.0m – 2.65m

gültig für Hubwerke:

WIW260MZ402

WIW280MZ401



Eckdruecke an Oberkante Portal

Hakenhoehe: 40.72 m Spur: 6.00 m Radstand: 6.00 m st93dV1.50:EN14439:ce25:C:stat:V1.32

Aus-ladung [m]	MD [kNm]	Zentral-ballast [to]	Eckdruecke in Betrieb [kN]					Eckdruecke Sturm von hinten [kN]				
			Ecke	Auslegerstellung			H.-kraft [kN]	Ecke	Auslegerstellung			H.-kraft [kN]
70.00	455	42.950	A	353	562	145	56	A	320	431	209	112
			B	652	562	562		B	494	431	431	
			C	353	145	562		C	320	209	431	
			D	55	145	145		D	147	209	209	

Aus-ladung [m]	MD [kNm]	Zentral-ballast [to]	Eckdruecke in Montage [kN]					Eckdruecke Sturm von vorne [kN]				
			Ecke	Auslegerstellung			H.-kraft [kN]	Ecke	Auslegerstellung			H.-kraft [kN]
70.00	455	42.950	A	173	560	5	30	A	284	77	564	77
			B	785	560	560		B	0	77	77	
			C	173	5	560		C	284	564	77	
			D	0	5	5		D	713	564	564	