

Die Bodenmechanik unter Turmdrehkränen und die Auswirkungen auf die Fundamente



Mai 2017

kran-info.ch / A. Bruderer

Charakterisierung der Böden

- Das häufigste Element in Böden ist Silizium (Silikate).
- Das zweithäufigste Element ist Sauerstoff.
- Sowohl Silizium und Quarz sind als Silizium Dioxid enthalten.
- Die Lebewesen Kieselalgen bilden auch Silizium Dioxid, welche in Form von Kieselgur oder Diatomeenerde abgelagert wird.
- Die meisten lebenden Organismen beinhalten Kohlenstoff als dritt häufigstes Element nach dem Wasserstoff und Sauerstoff, die im Wasser enthalten sind. Verbindungen mit Kohlenstoff sind organisch.

Bestimmung der Böden

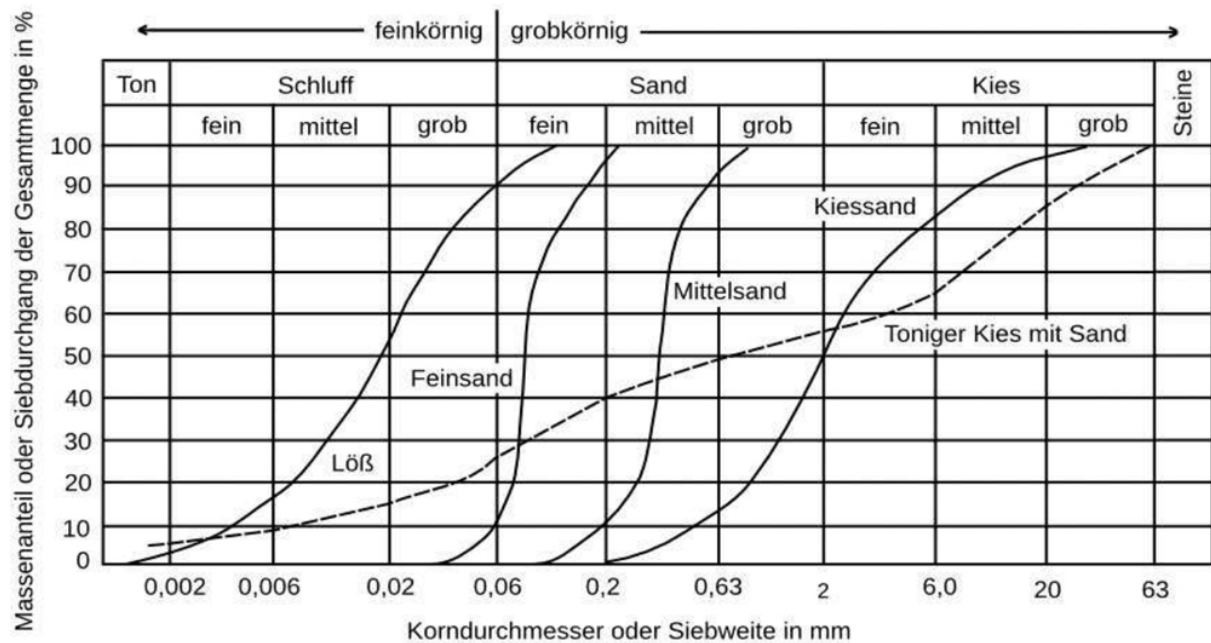
- In der Natur gibt es keine Böden mit einer einzigen Korngrösse.
- Auch eng abgestufte Materialien haben einen Anteil feinerer und gröberer Körner.

Die Partikel in einem Boden werden generell unterschieden nach:

- Der Entstehung (geologisch) oder der Herkunft (geographisch, Abbau Ort)
- Der chemischen Zusammensetzung
- Der Form und der Grösse (Morphologie)
- Dem Wasseranteil (Feuchtigkeit)

Generell werden die Teile im Boden in Ton, Schluff (Silt), Sand, Kies/Schotter und grössere Steine eingeteilt.

Die Kategorisierung erhält man durch eine Probeentnahme aus der betreffenden Parzelle und anschliessendem Filtern durch Siebe.



In diesem Beispiel enthält der Kiessand in der Masse 15% Mittelsand, 35% Grobsand, 34% Feinkies, 14% Mittelkies und 2% Grobkies.

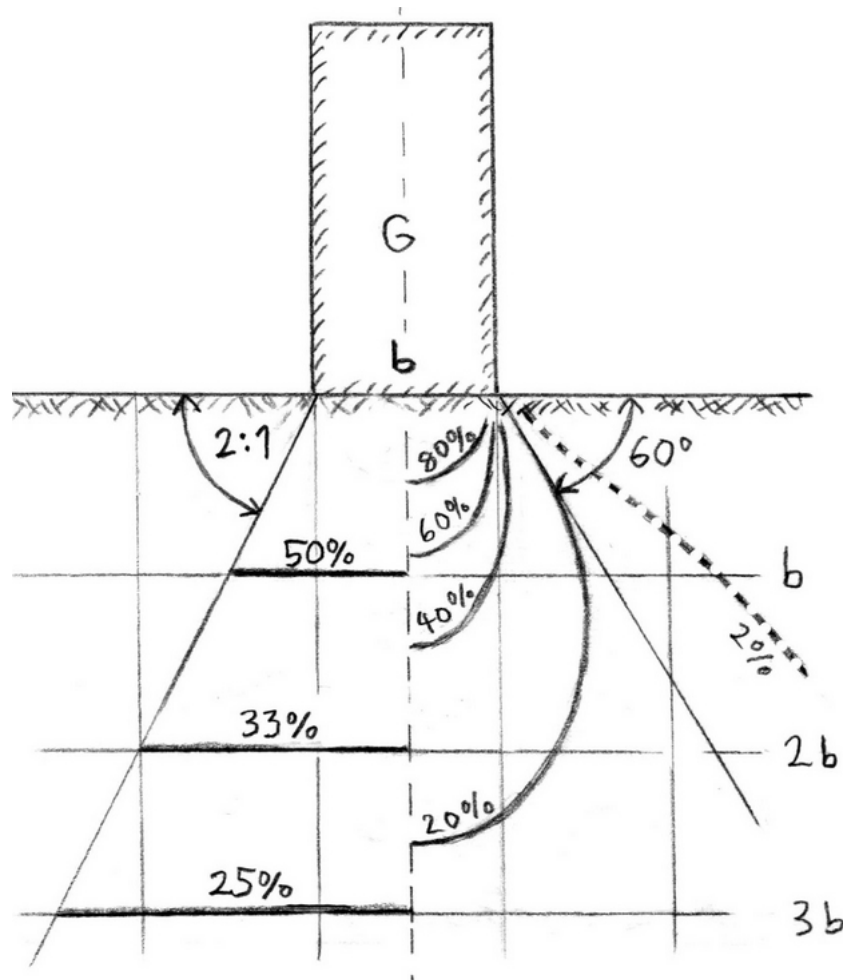
Bodenmaterial	Körnung im Durchmesser
Ton	0.02 mm und kleiner
Schluff (Silt)	0.02 – 0.06 mm
Sand	0.06 - 2 mm (→ zum Betonieren)
Kies	2 - 63 mm, gerundete Kanten (→ zum Betonieren)
Schotter	32 – 63 mm kantige oder scharfkantige Körner Einsatzzwecke: Kranfahrbahn mit Schwellen und Bahnen. Der Schotter federt die Ausdehnung der Schienen bei Temperaturänderungen ab.
Steine	63 mm – 630 mm
Grosser Block	630 mm und mehr

Grundwasser

- Wasser aus Seen und Bächen/Flüssen wird nicht dicht wie in einer Badewanne von der Umgebung abgegrenzt.
- Das Wasser aus Seen und Bächen/Flüssen verteilt sich seitlich und nach unten in den umliegenden Boden.
- Das Wasser das aus den Seen und Bächen/Flüssen im Boden versickert nennt man Grundwasser.
- Das Grundwasser fliesst durch Gefälle und die Schwerkraft auch an andere tiefer liegende Orte und verteilt sich somit.
- In einer Grundwasserzone ist der Boden in der entsprechenden Tiefe feucht.
- Gräbt man in einer Grundwasserzone ausserhalb der Landwirtschaftszone (→ Gülle) ein genug tiefes Loch, so wird dieses mit Wasser aufgefüllt, das man meistens trinken kann.
- Grundwasser wird an vielen Orten gefasst und als Trinkwasser in Reservoirs zwischengespeichert und an die Haushalte verteilt.

Druckverteilung im Baugrund

Der Winkel resp. das Verhältnis von der Länge zur Tiefe ist abhängig vom Baugrund und vom Wassergehalt.



Ein Gegenstand mit dem Gewicht G und Breite b drückt vertikal auf den Boden. Der Winkel der Lasteinleitung in den Boden ist abhängig vom Baugrund.

Linke Seite: Trapezverteilung des Drucks

- Der Druck von oben wird in der Form eines Trapezes mit der Neigung $2:1$ verteilt und damit im Untergrund begrenzt.
- In der Tiefe b unterhalb vom Gewicht ist der Druck nur noch halb so gross wie direkt unter dem Gegenstand.

Rechte Seite: Druckverteilung in der Form einer Zwiebel

- Die Kurven rechts zeigen ungefähr die Form einer Zwiebel.
- Da sich der Druck in einem Winkel verteilt, wird die belastete Fläche je tiefer desto grösser und der Druck pro m^2 nimmt entsprechend ab.
- Die Tiefe bei einem Winkel von 60 Grad bei der Kurve 20% und der Tiefe bei $2.5 b$ ist die entscheidende.

Messung der Belastbarkeit von Böden

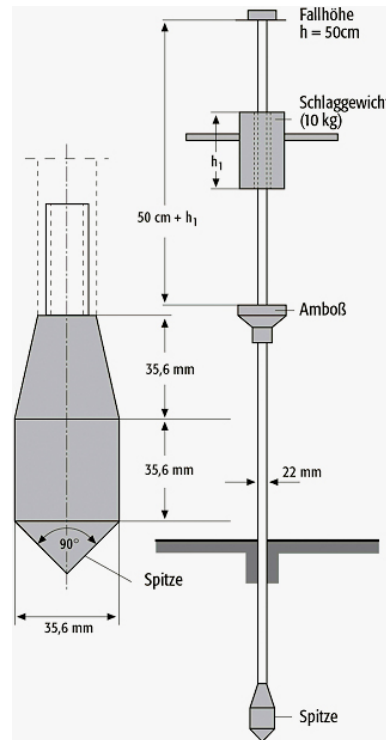
Durchführen von Sondierbohrungen

- Zur Durchführung von Sondierbohrungen eignet sich ein Bohrgerät auf Raupen oder ein Bohrgerät auf einem LKW oder an einem Kleinbagger.
- Im Normalfall sollte bis in eine Tiefe von ca. 8 m gebohrt werden.
- Die vom Bohrgerät an die Oberfläche geholten Proben werden in einem geeigneten Labor untersucht und aus den herausgeholt Proben die Tragfähigkeit des Bodens errechnet.
- Die Sondierbohrungen können vorteilhaft schon vor dem Kauf der Parzelle durchgeführt werden.



Rammen einer Stabsonde in den Boden

- Mit einem spezifischen Gewicht zählt man die Anzahl der Schläge auf eine Stabsonde bis diese eine bestimmte Tiefe in den Baugrund eindringt.
- Gemessen wird meistens pro 10 oder 20 Zentimeter.
- Vor dem Einsatz muss die Bedienungsanleitung genau studiert werden.
- Die Anzahl der Schläge für jede der Senktiefen müssen genau protokolliert werden.
- Je mehr Schläge für das Einrammen notwendig sind, desto härter ist der Boden.



Gewichte auflegen und die Einsinktiefen messen

- Indem man an den wichtigen Stellen Gewichte wie Betonplatten übereinander legt, misst man z. B. mit einem Nivelliergerät und einer Messlatte den Weg in die Tiefe den das Gewicht innerhalb einer vorgegebenen Zeit zurücklegt.
- Anhand der gemessenen Einsinktiefen, der gemessenen Fläche der zuvor gewogenen Gewichte und der gemessenen Zeit kann man die Tragfähigkeit des Bodens berechnen.

Im Zweifelsfall

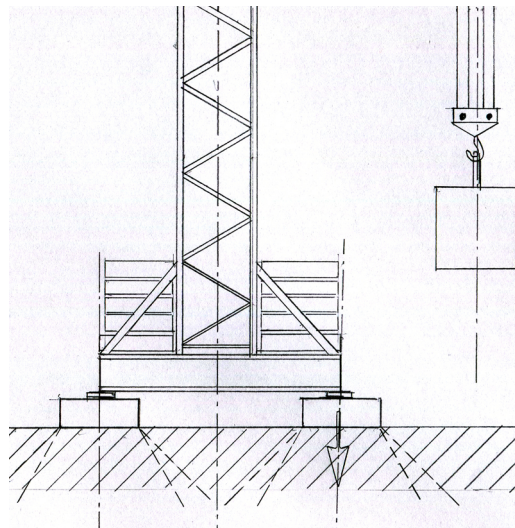
- Im Zweifelsfall lohnt es sich einen Bauingenieur oder ein geotechnisches Institut beizuziehen.
- Dann sind sie in einem Schadenfall fein raus und können die Verantwortung und damit die Bezahlung des Schadens weitergeben.

Zulässige Bodenpressung

Zulässige Bodenpressung Vergleich in N/mm ²	N/cm ²	kN/m ²	kg/cm ²	t/m ²	
Bodenart	N/mm ²	N/cm ²	kN/m ²	kg/cm ²	t/m ²
Angeschütteter, nicht künstlich verdichteter Boden	0 - 0,1	0 - 10	0 - 100	0 - 1	0 - 10
Gewachsene, offensichtlich unberührter Boden Schlamm, Moor, Torf, Mutterboden	0	0	0	0	0
Nicht bindige, ausreichend fest gelagerte Böden					
Fein bis Mittelsand	0,15 - 0,3	15 - 30	150 - 300	1,5 - 3	15
Grobsand bis Kies	0,2 - 0,5	20 - 50	200 - 500	2 - 5	20 - 50
Bindige Böden					
breiig: Schlamm	0	0	0	0	0
weich: Lehm feucht	0,05 - 0,1	5 - 10	50 - 100	0,5 - 1	5 - 10
steif: Lehm trocken	0,1 - 0,2	10 - 20	100 - 200	1 - 2	10 - 20
halbfest: Ton, Mergel	0,15 - 0,25	15 - 25	150 - 250	1,5 - 2,5	15 - 25
fest: Gips, Sandstein	0,3	30	300	3	30
Fels kompakt Kalk - Granit	2 - 4	200 - 400	2000 - 4000	20 - 40	200 - 400
Strassenbelag (Achtung: Trottoir Belastung < Strasse)	0.5 - 1	50 - 100	500 - 1000	5 - 10	50 - 100

Gewichte die ein Turmdrehkran in den Boden einleitet

- Alle Gewichte (Fachwerke und Profile aus Stahl, Zentralballast, Gegengewicht, maximale Last) muss der Boden in allen Jahreszeiten und bei jedem Wetter tragen können.
- Der Wind drückt meistens von allen Seiten an den Turmdrehkran. Die Windkräfte sind besonders bei einem Sturm sehr stark. Der Wind verursacht am Turmdrehkran ein Kippmoment (seitliches Drücken).
Wenn der Turmdrehkran ausser Betrieb ist, so drückt der Wind von hinten auf die Konstruktion und im schwenkbaren Bereich auf den Gegenausleger.
- Der maximale Eckdruck eines Turmdrehkrans kann in Betrieb und ausser Betrieb in der Betriebsanleitung nachgelesen werden.
- Der Eckdruck ist abhängig von der Hakenhöhe, von der Länge des Auslegers und damit vom Gegengewicht und von der Breite des Fundaments.
- Bei einer Montage des Turmdrehkrans in Höhenlagen (Jura, Alpen, Berge) weht der Wind stärker. Dadurch muss die Standsicherheit mit mehr Ballast kompensiert werden.
- Ab einer Hakenhöhe von mehr als ca. 35 – 40 Metern ist der Eckdruck des Turmdrehkrans ausser Betrieb durch den Wind verursacht grösser als in Betrieb beim Verteilen von Lasten.

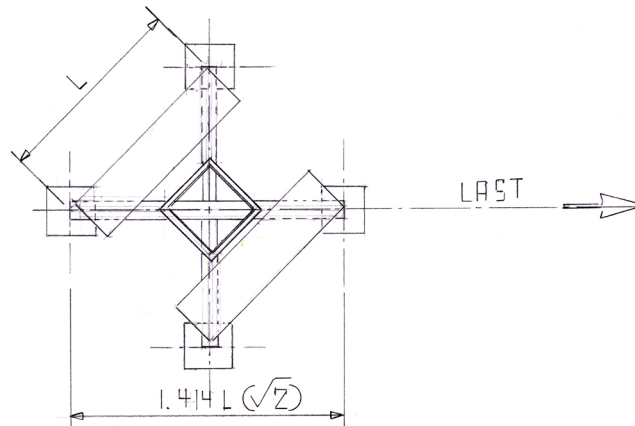


Zeichnung oben:

Ein Turmdrehkran auf einem Fundamentkreuz mit der maximalen Last an der zulässigen Ausladung.

- Wenn ein Turmdrehkran die maximal zulässige Last am Haken hat, so ist dies der ungünstigste Fall für den Baugrund, wenn der Turmdrehkran in Betrieb ist.
- Der Pfeil nach unten im Boden zeigt die einwirkende Kraft auf der Seite des Auslegers, welche in einem Winkel zwischen 45 und 60 Grad (gestrichelte Linien) je nach Beschaffenheit des Baugrunds in den Untergrund drückt.
- Je breiter die Betonplatten, die zu einer Pyramide aufgestapelten Kanthölzer aus Hartholz oder dicke Bleche unter dem Turmdrehkran sind, desto besser wird der Druck in den Baugrund verteilt und wird pro m² kleiner.
- Der Baugrund unterhalb des Turmdrehkrans muss horizontal und eben (ohne Gefälle) sein, so dass jeder cm² das Gewicht tragen kann.

- Vor der Wahl des Ortes zur Montage des Turmdrehkrans muss der Ort auf Hohlräume unter der Oberfläche überprüft werden. Rohre, Schächte, vergessene Keller und andere Hohlkörper können die Tragfähigkeit des Baugrunds stark einschränken.
- Weil der Baugrund durch Wasser unterspült werden kann, muss der Kranführer den Baugrund täglich vor der Inbetriebnahme des Turmdrehkrans von Auge überprüfen.

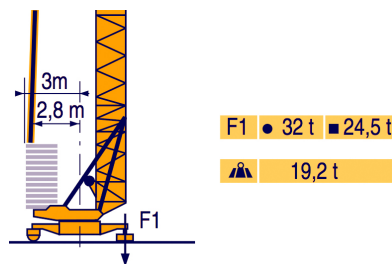


Grösster Eckdruck auf das Fundament (siehe Zeichnung oben)

Die Zeichnung zeigt einen Schnitt durch den Turm mit Blickrichtung zum Fundament.

- Wenn ein Turmdrehkran den Ausleger zur Längsseite des Fundamentkreuzes schwenkt, dann steht nur eine einzige Auflagefläche mit der Distanz $1.414 L (= \sqrt{2})$ von Achse zu Achse zur Verfügung, die das Kippmoment der Last auffängt.
- Die beiden seitlichen Auflagen dienen in diesem Fall vor allem zur seitlichen Stabilisierung des Turmdrehkrans.

Beispiel: Potain GTMR 346 A, maximale Hakenhöhe 30.5 m bei horizontalem Ausleger



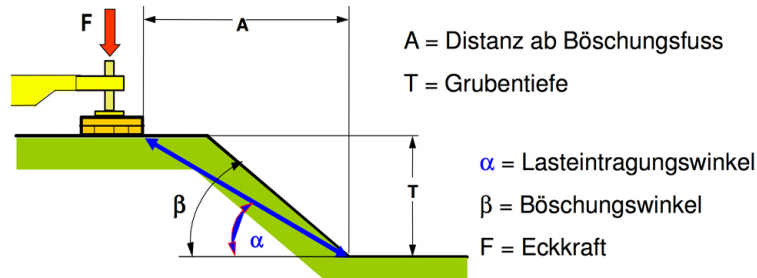
Legende Masseinwirkung (F1), berechnet für den ungünstigsten Fall:

- In Betrieb ● durch das Gewicht des Krans inkl. Ballast und das Heben der maximalen Last und Wind (maximal ca. 70 km/h) innerhalb der Toleranzgrenze wo der Turmdrehkran arbeiten kann.
- Ausser Betrieb ■, verursacht durch das Gewicht des Krans inkl. Ballast und starker Wind/Sturm.

Mögliche Standorte eines Turmdrehkrans

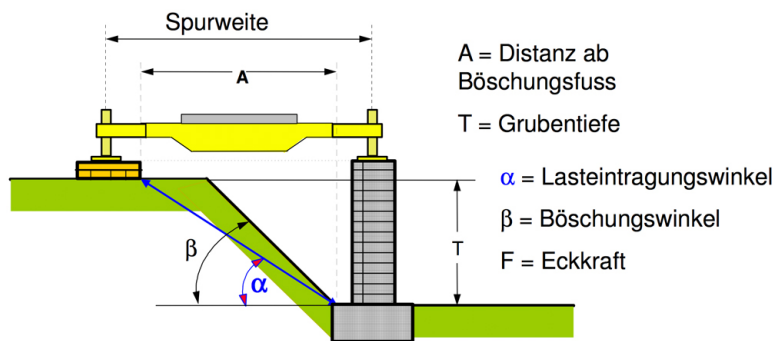
Baugrube mit einem Böschungswinkel

- Wenn die Tragfähigkeit des Bodens ausreichend ist, kann der Turmdrehkran ausserhalb der Baugrube stehen.
- Die Distanz zur Böschung muss eingehalten werden, weil sonst ein Grundbruch droht und der Turmdrehkran mit dem Untergrund in die Baugrube fällt.



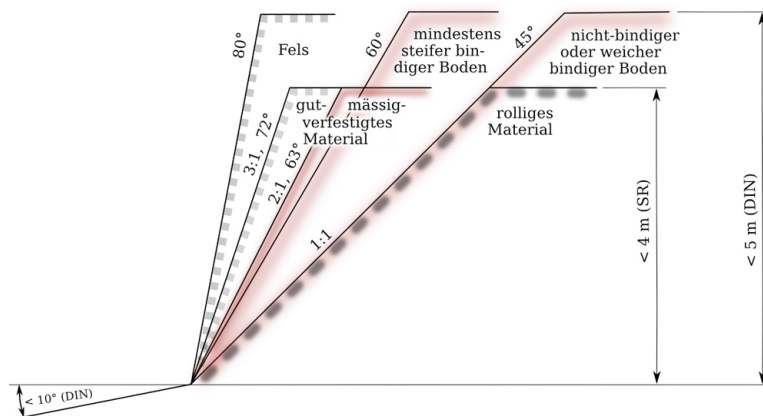
$\alpha \leq 45^\circ$ bei natürlichen Böschungen (grabbarem Material) $A = 1 \times T$ (1 : 1)

$\alpha \leq 30^\circ$ bei aufgeschütteten und rolligen Boden $A = 2 \times T$ (2 : 1)



$\alpha \leq 45^\circ$ bei natürlichen Böschungen (grabbarem Material) $A = 1 \times T$ (1 : 1)

$\alpha \leq 30^\circ$ bei aufgeschütteten und rolligen Boden $A = 2 \times T$ (2 : 1)



Spezialfälle

Wird die Baugrube mit einer Rühlwand, einer Bohrpfehlwand, einer Spundwand, einer Trägerbohlwand, einer Spriessung oder einer Rückverankerung abgesichert, so muss vor der Planung des Krankonzepts der zuständige Bauingenieur kontaktiert werden.

Montage in der Baugrube

- Ist die Tragfähigkeit des Bodens ausserhalb der Baugrube nicht ausreichend, so ist der Turmdrehkran in der Baugrube zu montieren, was zur Folge hat, dass die Baugrube unter Umständen grösser ausgehoben werden muss.
- Wenn der Grund der Baugrube auch nicht genug tragfähig ist, dann muss der Montageort zuvor mit Bohrpfehlen verstärkt werden.
- Eine andere Möglichkeit ist, der Turmdrehkran wird auf einer grossen Betonplatte (die Bodenplatte) montiert, die das Gewicht auf dem Baugrund verteilt.
- Vor der Montage des Turmdrehkrans muss die Angelegenheit mit dem zuständigen Bauingenieur besprochen werden.

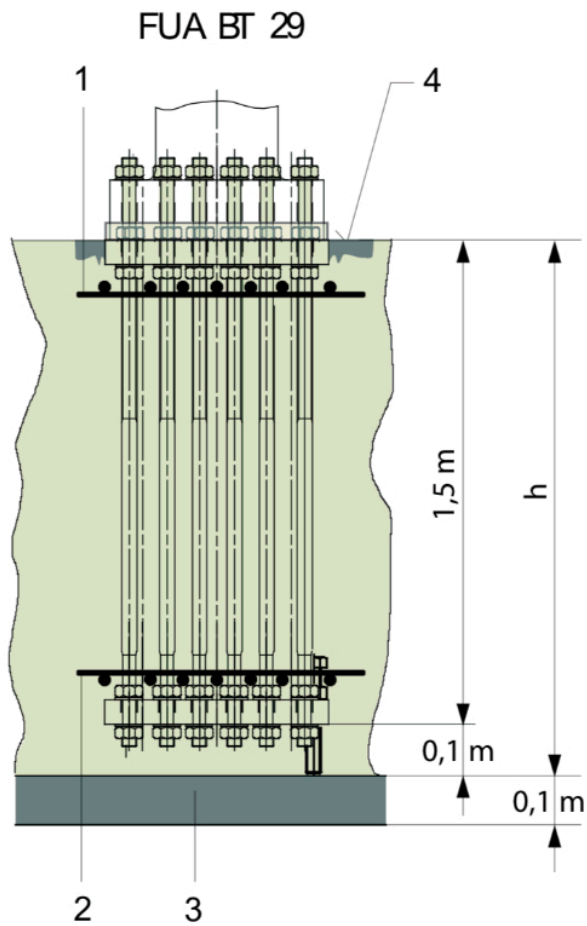


Anker vom Turmdrehkran nutzen die Bodenplatte des Gebäudes als Fundament

- Der Turmdrehkran nutzt die armierte und mit Flüssigbeton betonierte Bodenplatte des Gebäudes.
- Der zuständige Bauingenieur muss im Voraus die Bodenplatte mit dem einbetonierten Fundamentanker berechnen.
- Um die Fundamentanker ist gemäss Betriebsanleitung des Turmdrehkrans die Armierung der Bodenplatte zu verstärken um ein eindrücken und ausreissen des Turmdrehkrans zu verhindern.
- Vor dem Betonieren werden die Fundamentanker am untersten Turmelement des Turmdrehkrans montiert.
- Das unterste Turmelement mit den Fundamentankern muss senkrecht (Toleranz max. 2 Promille) und standsicher in der Baugrube auf dem Magerbeton als Unterlageschicht abgestellt werden.
- Erst nachdem der Beton der armierten Bodenplatte rund um den Turmdrehkran abgebunden ist, darf der Rest des Turmdrehkrans montiert werden. Die zuvor zu betonierende Fläche und deren minimale Dicke ist der Betriebsanleitung des Turmdrehkrans zu entnehmen.



Der Bereich, wo die Bewehrung (Armierung) verstärkt ist, muss vor der Montage des Turmdrehkrans betoniert und abgebunden (tragfähig) sein.



1	Obere Bewehrung	3	Sauberkeitsschicht
2	Untere Bewehrung	4	Oberkante Beton und Fundamentankerplatte

Beispiel aus der Betriebsanleitung des Wolff 7534