

| | | | |
|--|---------------------------------|---|--|
| | Index A | Systembeschreibung / <i>system description</i> |  MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen. |
| Ausgabe / <i>Edition</i> 01 / 2014 | Seite / <i>Page</i> 1 von 12 | | |

**Das Konzept Max Bögl für
Hybridtürme von WEA /
*Max Bögl concept for hybrid towers of
WTG***

| | | | |
|--|---------------------------------|---|---|
| | Index A | Systembeschreibung / <i>system description</i> |  MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen.</small> |
| Ausgabe / <i>Edition</i> 01 / 2014 | Seite / <i>Page</i> 2 von 12 | | |

1 Begriffe / *Terms and Definitions*

| | |
|-----|---|
| FTW | Fertigteilwerk / precast plant |
| TRS | Turmringsegmente bei Halbschalen bzw. Vollringe / tower ring segments |
| WEA | Windenergieanlagen / wind turbine generators |

2 Das Konzept Max Bögl für Hybridtürme von WEA / *Max Bögl concept for hybrid towers of WTG*

Für die Errichtung von Onshore-Windenergieanlagen werden sogenannte Hybridtürme verwendet. Diese Turmbauweise besteht aus einem vorgespannten Betonturm der sich aus vorgefertigten Betonfertigteilen zusammensetzt und aus einem Stahlrohrturm, der über ein Turmzwischenstück (Adapter) mit dem Betonturm verbunden ist.

For the construction of onshore wind turbines hybrid towers are used. These tower structures consist of a prestressed concrete tower which consists of precast concrete components and a steel tower which is connected by a transition piece with the concrete tower.

Dieser Adapter dient zugleich als Verankerungsebene (Festanker) für die Spannglieder mit denen die Fertigteile zusammengespannt werden. Die verwendeten Fertigteile werden nach der Betonage und dem Ausschalen an den Fugen mittels einer Schleifanlage plan-geschliffen, sodass bei der Errichtung des Turms die Fertigteile lediglich über eine trockene Fuge aufeinander positioniert werden.

This adapter also serves as an anchor level for the tendons (fixed anchor) to keep the precast elements together. The precast elements which are used are grinded at the joints by a grinding machine after concreting and demoulding, so that they may only be positioned by a dry joint on top of each other while mounting the tower.

Die Besonderheit dieser Fertigteillösung liegt in der Ausbildung der horizontalen Fuge zwischen den einzelnen TRS, die im FTW mit einer CNC-Beton-Fräsmaschine hochpräzise bearbeitet werden.

A special feature of this precast solution is that the horizontal joint between the tower rings are machined at very tight tolerances with a CNC grinding machine.

Die Fertigteile können somit trocken, ohne Ausgleichsschicht, aufeinander gestellt werden.

The precast elements may thus be placed one upon the other via a dry joint, i.e. without intermediate grout.

Vorteile der Bauweise mit trockenen Fugen sind u.a. minimierte klimatische Abhängigkeiten, die sich in kürzeren Montagezeiten und längeren Installationszeitfenstern für die Montage niederschlagen sowie ein klares Konzept zum Rückbau der WEA nach Erreichen der Nutzungsdauer.

Advantages of this construction are minimized climatic interdependencies, shorter assembly times and enlarged installation periods. Moreover, the dismantling process after service time is clearly defined and save.

Die Ausbildung des Spannbetonturms, d.h.

The configuration of the prestressed con-

| | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|--|---|
| | Index A | Systembeschreibung / system description |  MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen.</small> |
| Ausgabe / Edition 01 / 2014 | Seite / Page 3 von 12 | | |

dessen Länge und die Art der zum Einsatz kommenden Turmrings, ergibt sich aus verschiedenen Anforderungen, z.B. der Tragfähigkeit, des Abstands der Anregungen im Betriebszustand zur Resonanzfrequenz der Windturbine und wurde mit dem Turbinenhersteller festgelegt.

Die einzige Fuge, die vergossen wird, ist die zum Fundament, das in Ortbetonweise erstellt wird.

Die für den Endzustand notwendige Vorspannung erfolgt extern, d.h. die Spannglieder verlaufen entlang der Innenwandung der TRS verläuft. Vorteil dabei ist die leichte Zugänglichkeit und Inspizierbarkeit sowie der leichte Rückbau.

crete tower, i.e. its length and composition of tower rings is a result of various requirements, e.g. the bearing capacity, the distance between exciting frequencies in operation and the eigenfrequency of the tower. This was defined in cooperation with the WTG manufacturer.

The only joint to be grouted is the one to the foundation which is built in situ.

Prestressing in the final stage is done with a unbonded posttensioning system, i.e. the tendons are guided along the wall of the tower rings on the inside of the tower. Advantages are easy accessibility, maintainability and ease of dismantling.

2.1 Fundament des Hybridturms / foundation of hybrid tower

Der Betonturm wird auf dem Fundament errichtet, welches in Ortbetonbauweise errichtet wird. Es weist folgende Eigenschaften auf: Als Gründung wird ein kreisringförmiges Schwergewichts-Fundament verwendet, das in Abhängigkeit des vorhandenen Baugrunds wahlweise als Flachgründung oder als Tiefengründung ausgeführt werden kann.

Die Abmessung des Fundaments ist für die Standsicherheit der Anlage ausgelegt und dient für die Spannglieder als untere Verankerungsebene. Im Bereich des Fundament-Kragarms sind Leerrohre eingelassen die dazu dienen, die Spannglieder in den Kellerraum des Fundaments (Spannkellers) zu führen. Dort werden sie vorgespannt und verankert.

Der Boden des Spannkellers besteht i.d.R. aus einer Sauberkeitsschicht, die allerdings nicht wasserundurchlässig und nicht tragfähig ist. Der für die Sauberkeitsschicht verwendete Magerbeton hat die Betonfestigkeitsklasse C8/10. Alternativ kann eine wasserundurchlässige Bodenplatte ausgebildet werden.

The concrete tower is built on the foundation which is made of in situ concrete. It shows following characteristics: As a base an annular heavyweight foundation is used, which can be executed depending on the existing subsoil either as shallow foundation or as deep foundation.

The dimensions of the foundation are designed for the stability of the system and serves for the tendons as the lower anchoring level. In the area of foundation cantilever are ducts embedded which serve to guide the tendons in the basement of the foundation (cellar). There they are prestressed and anchored.

The bottom of the tension cellar is usually made of a blinding layer, which is not waterproof and has no bearing capacity. The plain concrete used for the blinding layer has a concrete strength C8/10. Alternatively, a waterproof base plate can be built.



Abbildung 1: Betonage Fundament / concreting foundation

2.2 Spannkellerdecke / cellar deck

Die Spannkellerdecke besteht aus mehreren Fertigteilelementen, die in die mittige Aussparung des Fundaments eingehoben werden. Die Orientierung ergibt sich aus einer Markierung an der Unterseite eines Elements.

The cellar deck consists of several precast elements, which are positioned in the central foundation opening. The orientation is defined with a mark on the bottom of the cellar deck elements.

In die Spannkellerdecke können Öffnungen für den Kellerabstieg, E-Komponenten sowie Einbauteile zur Befestigung integriert werden.

Openings for going down to the prestressing cellar, e-components and embedded parts for fixings can be integrated in the cellar deck.

Nach erfolgtem Ablegen sind die Aussparungen temporär mit Abdeckungen zu sichern.

After positioning of the cellar decks, the openings may be secured with temporary covers.

2.3 Errichtung des Spannbetonturms / assembly of concrete tower

2.3.1 Zusammenbau der TRS auf dem Fügekreuz / Assembly of TRS on the preassembly cross

Die TRS müssen vor der Montage zu ganzen *The precast segments need to be assem-*

| | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|--|---|
| | Index A | Systembeschreibung / system description |  MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen.</small> |
| Ausgabe / Edition 01 / 2014 | Seite / Page 5 von 12 | | |

Turmringen zusammen gesetzt werden. Hierzu werden sie auf so genannten Fügekreuzen positioniert und maßgenau zu ganzen TRS zusammen gesetzt.

Wichtig für den Prozess des Fügens ist, dass die TRS derart zusammen gefügt werden, dass sie in der identischen Geometrie wie nach der Schleifbearbeitung montiert werden können. So wird sichergestellt, dass die Ober- u. Unterseite jeweils eine exakte Ebene und die TRS einen vorschriftsmäßigen Turmring ergeben.

Die einzelnen Arbeitsschritte gliedern sich wie folgt:

- Vorbereitung des Fügekreuzes
- Auflegen der TRS
- Fügen der TRS
- Verschrauben der TRS
- Vermessen der TRS
- Vergießen der Vertikalfuge der TRS

bled to complete rings before assembly. For this they are placed on so called preassembly crosses and precisely fitted to entire rings.

Important for this process is the fact, that the rings maintain the identical geometry compared to the grinding process. Like this it can be assured that the horizontal interface on bottom/top are always showing a perfect surface required by design.

The separate working steps are as follows:

- *preparation of assembly cross*
- *positioning of the precast segments*
- *bolting the segments*
- *survey of the segments*
- *grouting of the vertical joint*

2.3.2 Einmessen und Verguß des untersten Turmrings / Fine leveling and grouting of starter ring

Der unterste Turmring ist genau einzurichten, da dieser die Ausgangsbasis für die spätere Turmausrichtung und –neigung ist und aufgrund der trockenen Fuge während der Turm- montage kein planmäßiger Neigungsausgleich möglich ist.

The lowest tower ring is to be precisely fine tuned since it is the base for the subsequent tower orientation and tilt. Later adjustments aren't possible any more due to the dry joint.

Der unterste Turmring wird auf Pressen abgesetzt und in der endgültigen Höhe nivelliert. Im Anschluss wird die Fuge mit einem Vergussmörtel (Betec 140 o. glw.) vergossen.

For this, the lowest tower ring is placed on jacks and then leveled on its final height. In the end, the joint needs to be grouted with Betec 140 or equivalent.

2.3.3 Versetzen der Turmrings und Umhängen der Montagebühne / placing of the tower rings and changing of assembly platform

Nachdem der unterste Turmring gesetzt worden ist, kann mit der Montage der weiteren Turm- ringe fortgefahren werden.

After the lowest tower ring is placed, the as- sembly of the other tower rings can be started.

Zunächst wird die Bühne nach Bedienungsan- leitung aktiviert und am untersten Ring einge- hängt.

For this the assembly platform according to the manual is activated and fixed to the lowest tow- er ring.

Die Monteure auf der Montagebühne rüsten jeweils die Turmringoberseiten aus. Dafür wer-

The staff on the assembly platform equips the

| | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|--|---|
| | Index A | Systembeschreibung / system description |  MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen.</small> |
| Ausgabe / Edition 01 / 2014 | Seite / Page 6 von 12 | | |

den auf der montierten Ringoberseite die Dübel eingesetzt und die Dichtprofile eingelegt.

Nun kann der nächste Turmring abgelassen werden. Der Turmring wird angeschlagen, gehoben und auf dem letzten zuvor montierten Turmring abgelassen.

Es ist nun die Neigung des Turmkopfes mit einem Lasermessgerät zu prüfen. (Kontrollmessung)

respective upper side of the tower rings. For this the dowels are placed in the respective recesses and the sealing profiles are inserted.

Now the next tower ring can be placed. The tower ring is rigged, lifted and then placed on the latest positioned ring.

Now the inclination of the tower is to be checked with a laser (control measurement).



Abbildung 2: Montage eines Turmrings / assembly tower ring

Danach wird die Montagebühne umgesetzt, d.h. in den zuletzt montierten Turmring eingehängt.

After this the assembly platform is transferred, that means it is connected to the last installed ring.

2.4 Montage von Einbauteilen / assembly of appurtenances

Die Montage von Einbauteilen wie z.B. Flugfeuerungsleuchtmittel, Plattformen etc. werden ebenerdig montiert bzw. vormontiert, um die spätere Montage zu erleichtern.

The assembly of appurtenances as e.g. beacons, platforms, etc. is done on the ground in order to ease subsequent assembly steps.

| | | | |
|--|---------------------------------|---|---|
| | Index A | Systembeschreibung / <i>system description</i> |  MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen.</small> |
| Ausgabe / <i>Edition</i> 01 / 2014 | Seite / <i>Page</i> 7 von 12 | | |

2.5 Einbau der Spannglieder und Aufbringen der Vorspannung */ mounting of tendons and prestressing*

Nach Montage aller Turmringe inkl. Adapter ist der Spannbetonturm vorzuspannen. Für den Einbau der Spannglieder und das Aufbringen der Vorspannung ist vom Aufsteller der Statik eine geprüfte Spannanweisung erstellt worden. In dieser ist eine Spannreihenfolge vorgegeben, die in Übereinstimmung mit dem gültigen Übersichtsplan aufzubringen ist.

After all tower rings incl. the transition piece are assembled the concrete tower can be prestressed. For mounting the tendons and prestressing the designer set up a prestressing instruction. In it the sequence of prestressing is defined, which has to be applied in accordance with the valid overview drawing.

Die Spannglieder werden von der Spitze des Spannbetonturms abgetrommelt. Danach wird das Spannglied ausgerüstet und in der Lage & Höhe gesichert.

The tendons are lowered from the top of the concrete tower. After that the tendon is equipped and secured in position and height.

Die Vorspannung wird vom Spannkeller aus gemäß geprüfter Spannanweisung (vgl. Statik des Spannbetonturms, Kapitel Baubehelfe) aufgebracht. Der gesamte Vorspannvorgang wird im Spannprotokoll dokumentiert.

The prestressing is applied from the cellar according to the checked prestressing instruction (see design of concrete tower, chapter temporary stages). The entire prestressing process is documented in the prestressing protocol.



Abbildung 3: Eingebaute Spannglieder/ pretensioned tendons

2.6 Montage Stahlrohrturm / *Assembly steel tower*

Nach erfolgter Abnahme des Betonturms ist die Montage des Stahlrohrturms möglich. Die Montage erfolgt konventionell wie bei herkömmlichen Stahltürmen.

After acceptance of the concrete tower the assembly of the steel tower is possible. The assembly is done conventionally as with usual steel towers

| | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|--|---|
| | Index A | Systembeschreibung / system description |  MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen.</small> |
| Ausgabe / Edition 01 / 2014 | Seite / Page 8 von 12 | | |

2.7 Inneneinbaukonzept Max Bögl / internals Max Bögl

Der Inneneinbau im Bereich des Betonturms eines Hybridturm besteht aus einem hängenden Stahltraggerüst (Gitterturm), um Kriech- und Schwindbewegungen ausgleichen zu können. Der Gitterturm wird am Adapter aufgehängt erstreckt sich von dort bis auf die Spannkellerdecke auf Fundamentoberkante.

The internals in the concrete part of a hybrid tower is built of a hanging steel frame structure (lattice tower) in order to compensate for creeping and shrinkage. The lattice tower is suspended in the adapter and extends down to the cellar deck at top of foundation.

Im Stahlturm wird das Inneneinbaukonzept konventionell geplant und ausgeführt. Die Leiter zwischen Beton- und Stahlturmteil kann durchlaufen oder versetzt ausgeführt werden.

In the steel tower the internals are designed and built conventionally. The ladder between concrete and steel part may be continuous or separated.

2.7.1 Inneneinbaukonzept Betonturm / internals concrete tower

Im Betonturmteil können am Gitterturm alle notwendigen Elemente wie

- Kabel, Kabelführungen,
- Schaltkästen
- Anbauteile für z.B. Lifte
- Beleuchtungen
- eine durchgehende Steigleiter mit Fallschutzsystem, etc.

installiert werden. Außerdem sind Wartungsplattformen in verschiedenen Höhen angeordnet.

Um das Wartungspersonal vom Boden auf Plattformen bzw. bis zum Maschinenhaus zu befördern, ist ein durchgehender Personenförderlift installiert. Der Lift hängt am obersten Stahlturmsegment und wird beginnend im Gitterturm alle 20 m geführt.

Within the concrete tower all necessary appurtenances as

- cables and cable routings,
- luminaries
- control boxes
- appurtenances for e.g. lifts
- a continuous vertical ladder incl. fall protection system

may be installed at the lattice tower.

Moreover, maintenance platforms are positioned at different heights.

In order to carry the maintenance personnel from the floor onto platforms or to the nacelle respectively, a continuous person's lift is installed. The lift is fixed in the topmost steel segment and laterally guided all the way up every approx. 20 m starting from the lattice tower.

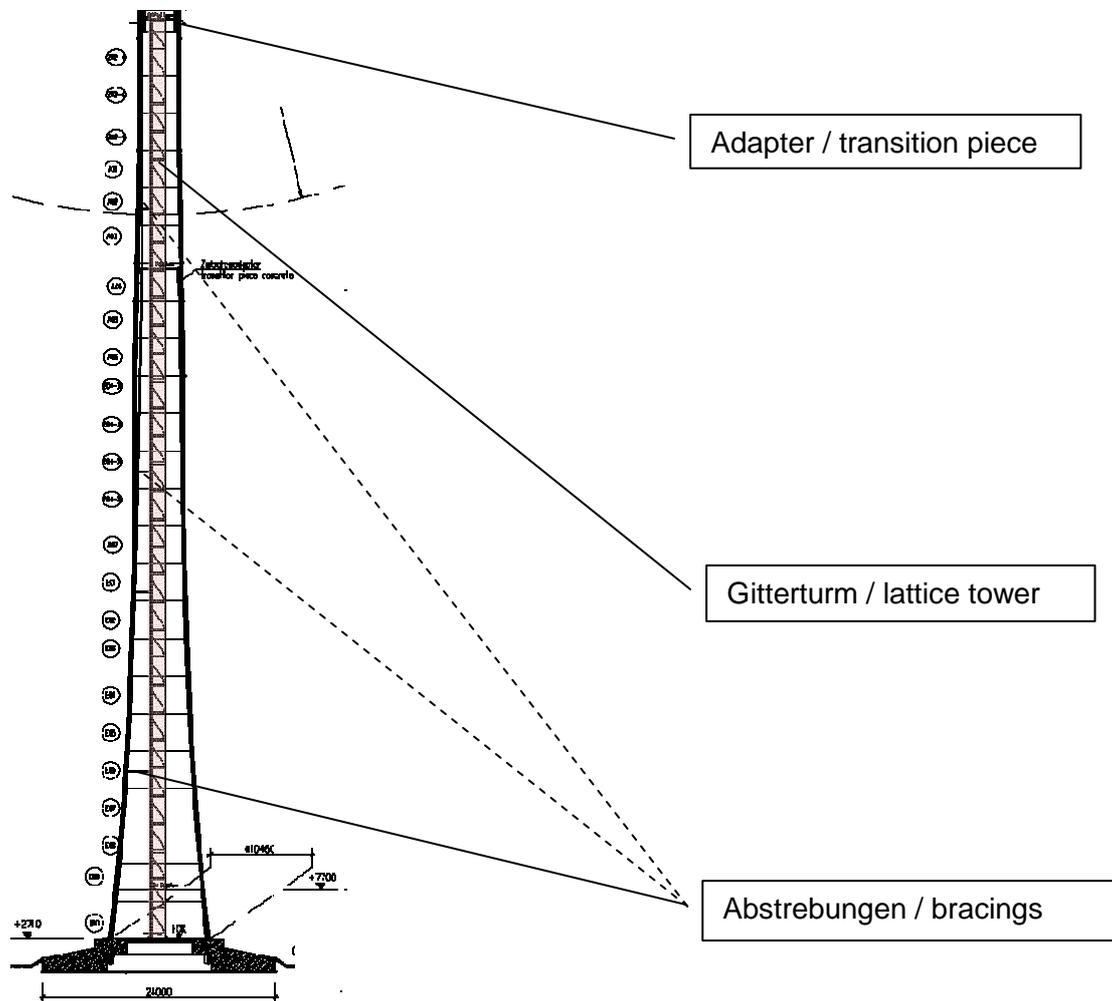


Abbildung 4: Übersicht Inneneinbaukonzept Betonturm / overview internals concrete tower

Der hängende Struktur besteht aus einzelnen Stahlgittermodulen, die miteinander durch Schraubverbindungen zu einem Gitterturm zusammen gebaut sind. Der Gitterturm hängt an der Adapterplattform, die wiederum auf 4 im Adapter befestigten Konsolen aufgelagert. Seitlich wird der Gitterturm mehrfach am Betonturm abgestützt. Das freie Innenmaß beträgt 1600 mm x 1600 mm.

The hanging structure consists of single steel modules that are built to a lattice tower together by bolted connections. The lattice tower is attached to the transition piece platform, which itself is supported on 4 consoles attached to the adapter. Laterally, the lattice tower is at braced several times to the concrete tower.

The clearance of the lattice tower is 1600 mm x 1600 mm.

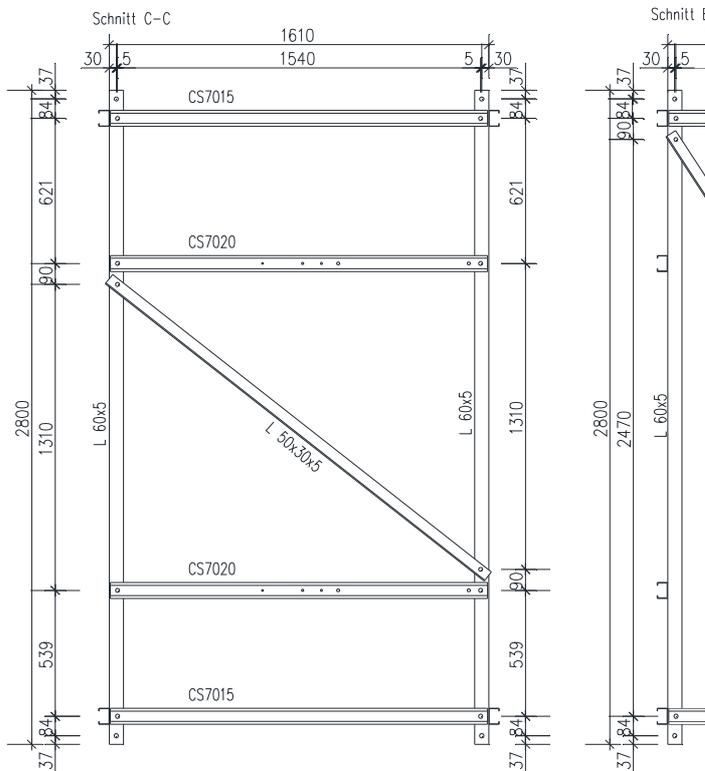


Abbildung 5: Seitenteil mit Querträger für Einbauteile / wall element with traverse for appurtenances

2.7.2 Übergang Betonturm-Stahlurm / transition concrete to steel-tower

Der Übergang zwischen Betonturm zum Stahlurm ist der anspruchsvollste Bereich im Inneneinbaukonzept.

The transition between concrete and steel tower is the most challenging part in the internal's concept.

Dies liegt an den engen Platzverhältnissen (Innendurchmesser im Adapter: 3,0 m) und den unterschiedlichen Anforderungen bzgl. des Übergangs von Kabeln, Leiter, Lift, etc.

This is due to the restricted space (interior diameter within the transition piece: 3.0 m) and different requirements of the transition of cables, the ladder, the lift, etc.

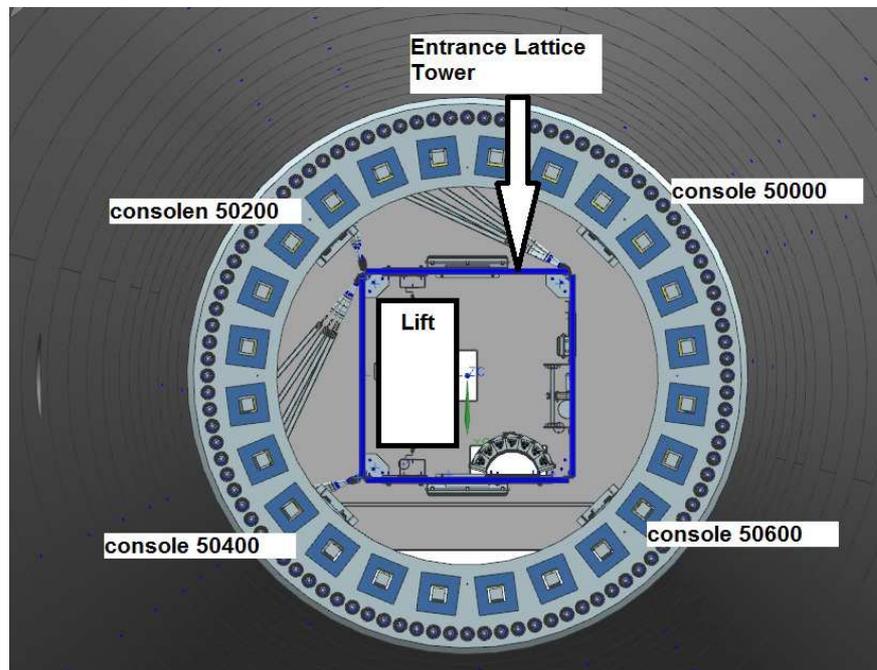


Abbildung 6: Beispiel Draufsicht Übergang Beton- zu Stahlurm / example top view transition concrete to steel tower

2.7.3 Montage Inneneinbaukonzept

Zunächst wird die Adapterplattform mit einem bereits vormontierten Gitterturmelement eingehoben.

First the transition piece platform with a preassembled lattice tower element is mounted.



Abbildung 7: Einhebevorgang Adapterplattform mit dem Gitterelement / Hoisting process of transition piece platform with grid element

Die weiteren Arbeiten erfolgen innerhalb des *Subsequent works are carried out within the*

| | | | |
|-----------------------------------|---------------------------|--|--|
| | Index A | Systembeschreibung / system description |  MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen. |
| Ausgabe / Edition 01 / 2014 | Seite / Page 12 von 12 | | |

Türme und benötigen keinen externen Kran, da die Elemente mit der PAM gehoben und montiert werden können.

crance and don't require an external crane, since the elements can be lifted and mounted with an access unit (PAM).

Dazu werden die auf der Spannkellerdecke vormontierten Gitterturmelemente mit Hilfe des PAM nach oben gehoben und mit den bereits montierten Gitterturmelementen verschraubt. So wächst der Gitterturm von oben nach unten.

For this the lattice tower elements are preassembled on the cellar deck and lifted with the access unit and bolted there to already fixed lattice tower elements.

Like this the lattice tower is growing from top to bottom.

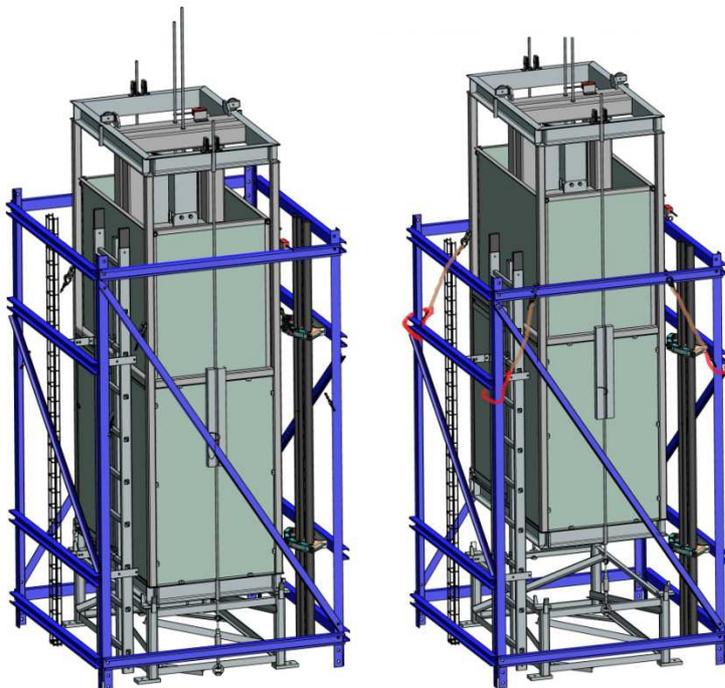


Abbildung 8: Hebevorgang mit PAM (innen) / lifting process with PAM (access unit, inside)

3 Historie / History

Bei Änderung des Dokumentes ist hier eine kurze Information zur Art der Änderung zu geben:

| Ausgabe/ Edition | Index | Art der Änderung / Type of Change |
|---------------------|-------|-----------------------------------|
| 01/2014 | | Neuerstellung / new issue |