

MFLP – Magnet- und Fanglagerprüfstand des Zittauer Kraftwerkslabores

Holger Neumann, Christian Panescu, Stephan Düsterhaupt, Frank Worlitz

Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik

Hochschule Zittau/Görlitz

Theodor-Körner-Allee 16

02763 Zittau, Germany

Tel.: +493583611383, Fax: +493583611288

Email: h.neumann@hszg.de, c.panescu@hszg.de, s.duesterhaupt@hszg.de, f.worlitz@hszg.de

Kurzfassung

Der Einsatz von Magnetlagern in Kraftwerksmaschinen ist oftmals durch hohe Umgebungstemperaturen und zum Teil aggressive Medien begrenzt. Gründe dafür sind der Isolationsgrad der Wicklung und der Blechung bzw. die üblicherweise eingesetzten Materialien. Für die Wicklungen liegen die max. beherrschbaren Temperaturen bei 160 °C. Bekannte Lösungen, wie zum Beispiel keramische Drahtisolierungen, die Temperaturen bis 450 °C zulassen, sind sehr aufwendig und mit einer Reihe von Nachteilen behaftet. Neueste Entwicklungen auf dem Gebiet der Oberflächentechnologie und Materialforschung erschließen völlig neue Ansätze für die Isolierung und eröffnen damit die Möglichkeit für Hochtemperaturmagnetlager (HTAMB High Temperature Active Magnetic Bearing). Dabei müssen nicht nur die Magnetlager, sondern auch die notwendigen Fanglager in die Betrachtung mit einbezogen werden.

1 Einleitung

Im Rahmen eines seit 2011 geförderten EFRE-Projektes werden dazu Grundlagenuntersuchungen durchgeführt. Kern des Projektes ist der Aufbau einer Versuchsanlage zum Langzeittest von Magnetlagerungen (bestehend aus Fang- und Magnetlager) unter extremen Umgebungsbedingungen.

Für erste Untersuchungen stehen Fanglager im Mittelpunkt.

Die Fanglager befinden sich in unmittelbarer Nähe zu den Magnetlagern und sind in gleichem Maße den Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Bei einem Abwurf müssen extreme dynamische Kräfte aufgenommen werden. Es werden Fanglager in der Ausführung als Wälz- und Gleitlager getestet. Neben dem unter-

schiedlichen Design steht vor allem die Langzeitstabilität im Fokus.

Wesentlicher Bestandteil der Versuchsanlage ist der magnetgelagerte Rotor mit einer Masse von 1,3 t. Dieser wird in einem druckfesten Rezipienten untergebracht, welcher eine Beaufschlagung mit überhitztem Dampf ermöglicht. Der Rezipient ist mit einem Kammerssystem für eine gezielte Dampfbeaufschlagung der Wellenabschnitte versehen. Mit diesem Aufbau ist es möglich, verschiedene Temperaturbereiche/-profile einzustellen. Damit ist die Untersuchung von Fang- und Magnetlagern unter verschiedenen kraftwerksrelevanten Bedingungen separat voneinander möglich. Das betrifft Einzeleffekte, wie sie sich aus den hohen Temperaturen (bspw. Relativdehnungen zwischen Stator und Rotor), durch die Beaufschlagung mit Dampf (Korrosion) bzw. durch das Vorhandensein aggressiver Atmosphäre ergeben. Besondere Notfanglager gestatten darüber hinaus den Test der Fanglager bis an die Auslegungsgrenze.

Mit der Versuchsanlage wird die Grundlage geschaffen, zukünftige Lösungen für Fang- und Magnetlager unter verschiedensten Umgebungsbedingungen und Belastungen zu testen.

Die Versuchsanlage wird im Rahmen des Zittauer Kraftwerkslabores auf dem Gelände der Stadtwerke errichtet. Neben der Versuchsanlage MFLP entstehen im Zittauer Kraftwerkslabor zwei weitere Versuchsanlagen zur Niedrig- bzw. Hochtemperaturenergiespeicherung.



Gefördert aus Mitteln
der Europäischen Union

Europa fördert Sachsen.



Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

2 Konzeption der Versuchsanlage

2.1 Einordnung in das Zittauer Kraftwerkslabor

Abbildung 1 zeigt die Anordnung der Versuchsanlagen des Zittauer Kraftwerklabores als Grundriss der Versuchshalle der Zittauer Stadtwerke.

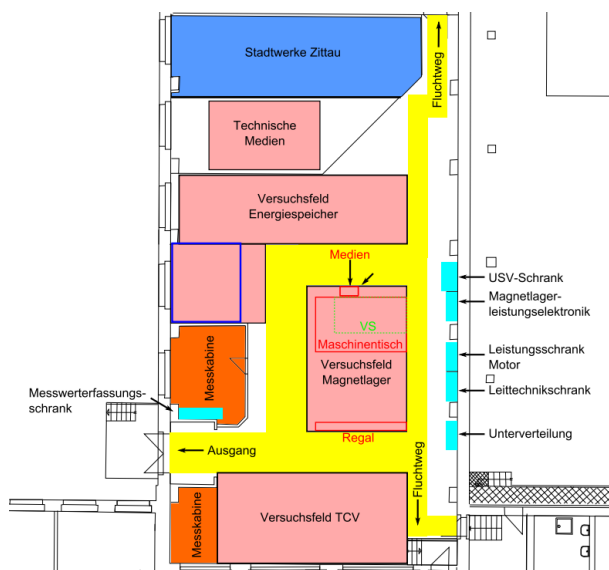


Abbildung 1: Versuchshalle des Zittauer Kraftwerklabores

Die mit „Energiespeicher“, „TCV“ gekennzeichneten Flächen stellen die Versuchsanlagen zu Hoch-/Niedrigtemperaturspeichern dar. Das Feld „Magnetlager“ bezieht sich auf die Versuchsanlage MFLP.

Die Bereitstellung des Dampfes zur Beaufschlagung der Kammern der Versuchsanlage MFLP wird durch die Versuchsanlage „Energiespeicher“ sichergestellt. Durch diese wird überhitzter Wasserdampf mit folgenden Parametern bereitgestellt:

| Parameter | Wert |
|------------------------|---------------|
| Frischdampf Temperatur | max. 250 °C |
| Massenstrom | max. 324 kg/h |
| Wärmestrom | max. 230 kW |
| Betriebsdruck | max. 3 bar |

Tabelle 1: Dampfparameter MFLP

2.2 Konstruktive Ausführung

Wie eingangs erwähnt, ist die Durchführung von Untersuchungen zur Langzeitstabilität von Magnet- und Fanglagern unter extremen Umgebungsbedingungen Ziel der Versuchsanlage MFLP. Abbildung 2 zeigt die Anordnung von Versuchsstandskomponenten des MFLP als Übersicht.

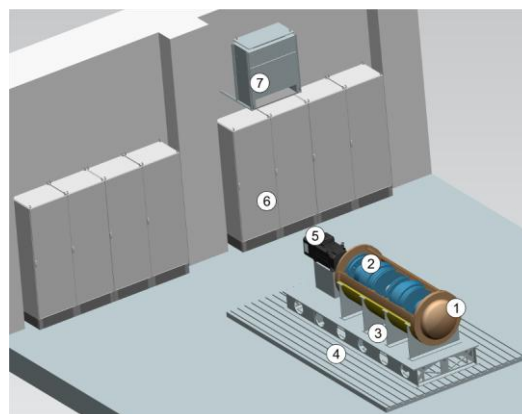


Abbildung 2: Übersicht Versuchsanlage MFLP

Position (2) in Abbildung 2 zeigt den Rotor inklusive Magnet- und Fanglager in dem druckfesten Rezipient (1). Antriebsmotor (5) und Rezipient sind über den Grundrahmen (3) mit der Aufspannplatte (4) verbunden. Die Aufspannplatte ist auf einem massiven Betonfundament angebracht und ermöglicht damit die Ableitung der zu erwartenden Reaktionskräfte beim Fanglagerabwurf. Position (6) zeigt die Antriebs- und Magnetlagersteuerschränke und Position (7) die Bremswiderstände für den Antriebsmotor. In Tabelle 2 sind die Eckdaten des Versuchsstandes MFLP zusammengestellt.

| Parameter | Wert |
|-----------------|-----------------------------|
| Rotormasse | ca. 1,3 t |
| Rotorlänge | 2653 mm |
| Drehzahl | max. 3600 min ⁻¹ |
| Länge Rezipient | 2700 mm |
| Ø Rezipient | 1700 mm |
| Masse Rezipient | 4500 kg |

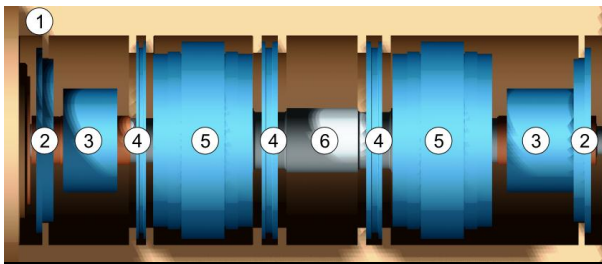
Tabelle 2: Eckdaten des Versuchsstandes

Ziel der Konzeptionsphase ist es, den Versuchsstand so auszuführen, dass gezielt unter-

schiedliche Fanglagerkonfigurationen getestet werden können. Daraus ergeben sich folgende Anforderungen an den Versuchstand:

- gezielte Dampfbeaufschlagung der Fanglager unabhängig von den Magnetlagern
- Möglichst geringer Montage-/Demontageaufwand
- Sicherungseinrichtungen für den Fall des Versagens der Fanglager bei Belastung an der Auslegungsgrenze
- Modularer Aufbau der Fanglagergehäuse für den Einbau unterschiedlicher Lagertypen (Wälz-/Gleitlager)

In Abbildung 3 ist der druckfeste Rezipient mit Rotor und Magnet-/Fanglagern dargestellt.



Pos. Bezeichnung

| | |
|---|-----------------|
| 1 | Druckbehälter |
| 2 | Notfanglager |
| 3 | Radialfanglager |
| 4 | Dichtebene |
| 5 | Magnetlager |
| 6 | Welle |

Abbildung 3: Rezipient mit Einbauten

Der Rezipient ist horizontal teilbar ausgeführt um eine gute Zugänglichkeit der einzelnen Komponenten bei Montagearbeiten zu gewährleisten.

Für die gezielte Dampfbeaufschlagung der Fanglager und zukünftig auch der Magnetlager wird der Innenraum des Rezipienten mit Hilfe von Dichtebenen in Kammern unterteilt (4 in Abbildung 3). Jede Kammer wird mit einer separat regelbaren Dampfzuführung versehen, so ist es möglich praxisrelevante Temperaturprofile gezielt einzustellen.

Es ist geplant Versuche durchzuführen, bei denen die Radialfanglager bis an die Auslegungsgrenze belastet werden. Ein Versagen der Radialfanglager ist deshalb nicht ausgeschlossen. Für ein sicheres Aufnehmen des Rotors in diesem Fall sind Notfanglager (2 in Abbildung 3) vorgesehen. Diese sind als Gleitbuchsen ausgeführt und dienen in erster Linie dem Schutz der Magnetlager. In Tabelle 3 sind die geplanten Lagerluftspalte zusammengestellt.

| Lager | Luftspalt |
|---------------------|-----------|
| Magnetlager axial | ±500 µm |
| Fanglager axial | ±300 µm |
| Magnetlager radial | ±800 µm |
| Fanglager radial | ±500 µm |
| Notfanglager radial | ±300 µm |

Tabelle 3: Lagerluftspalte MFLP

Alle statorseitigen Einbauten (Magnetlager und Fanglager) werden horizontal teilbar gestaltet, sodass eine einfache Montage/Demontage möglich ist.

2.3 Fanglagerkonstruktion

Die Fanglagerkonstruktion besitzt einen modularen Aufbau (Abbildung 4). Es sollen sowohl Gleit- als auch Wälzlager in das Gehäuse untergebracht werden können. Maßgebend für den benötigten Bauraum sind die maximal zu erwartenden Abmessungen von zu testenden Wälzlagern, da diese üblicherweise einen größeren Außendurchmesser als Gleitlager besitzen. Es ergibt sich ein Außendurchmesser des Gehäuses von 800 mm bei einer Wandstärke von 55 mm.

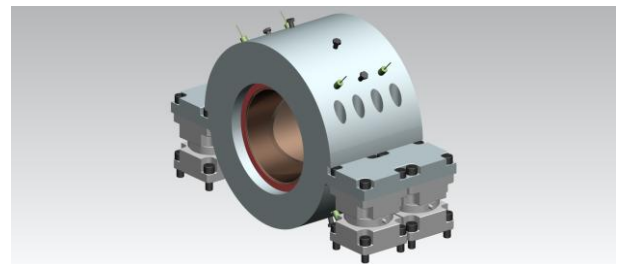


Abbildung 4: Fanglagerkonstruktion

Das Fanglager, als Gleitlagerausführung, besitzt eine Masse von ca. 433 kg. Die Konstruktion ermöglicht eine radiale Teilung des Gehäuses, Stahlmantels und der Gleitlagerbuchse. Das ermöglicht eine einfache Demontage des Lagers. Im Versuchsbetrieb sollen die Gleitlager trocken betrieben werden. Für die Buchsen der Gleitlager wird eine Bronzelegierung verwendet, um die Dämpfung des Rotors beim Fanglagerkontakt zu erzielen. Des Weiteren bestehen die Buchsen aus Profilen, welche einen Formschluss mit dem Stahlmantel bilden (Abbildung 5).

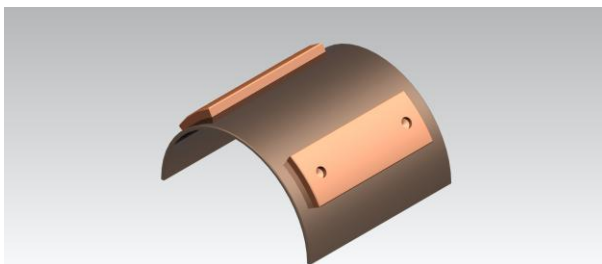


Abbildung 5: Gleitlagerbuchse

Durch Anpassung des Stahlmantels ist es möglich verschiedene Lagerkonstruktionen einzusetzen (verschiedene Gleitlagerbuchsen/Wälzlager). Zudem erhöht sich die Steifigkeit des Lagers (Abbildung 6).

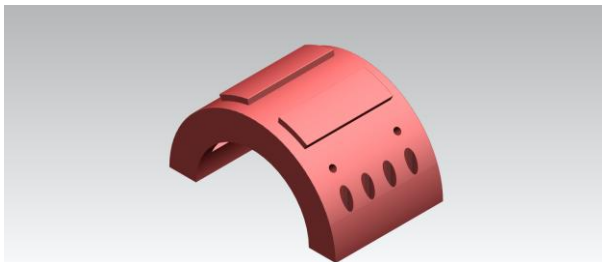


Abbildung 6: Stahlmantel

Die Buchsen werden formschlüssig zusammengehalten. Der Formschluss wird durch Bolzen gewährleistet, welche gleichzeitig als Führung genutzt werden.

Die Ausführung der Gleitlagerbuchse und des Stahlmantels mit Profilen ermöglichen einen radialen und axialen Formschluss der einzelnen Komponenten untereinander (4 in Abbildung 7). Das Gehäuse und der Stahlmantel besitzen neben dem Formschluss auch einen Kraftschluss. Dieser wird durch Innensechs-

kantschraubenverbindungen konstruktiv umgesetzt (3 in Abbildung 7).

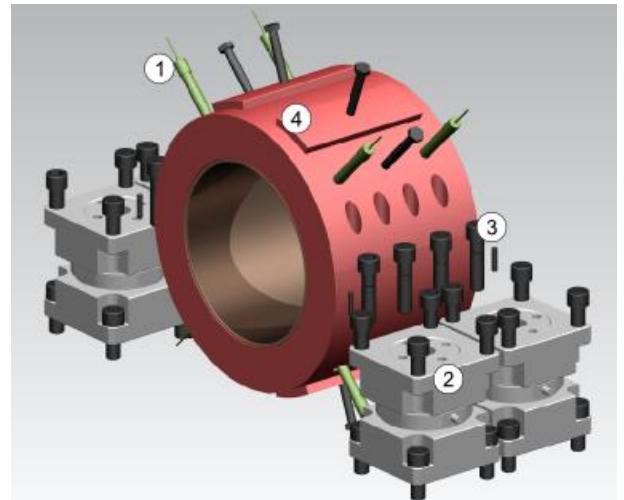


Abbildung 7: Schraubverbindungen und Sensorik

Zur Sicherung der Nachvollziehbarkeit der Experimente sind für Gleit- und Wälzfanglager verschiedene Sensoren vorgesehen. Zur messtechnischen Ermittlung der Auflagerkräfte sind Kraftsensoren (Firma Kistler, 2 in Abbildung 7) vorgesehen. Aufgrund der zu erwartenden großen Kräfte beim Abwurf (bis zu 180 kN) sind pro Lagerstelle vier Sensoren notwendig.



Abbildung 8: Kraftsensor

Die Sensoren werden direkt mit den Auflagerflächen des Gehäuses verschraubt und ermöglichen damit eine Messung im Krafthauptschluss. Für die Messung der Temperatur werden acht Thermoelemente radial Buchsen eingebracht (1 in Abbildung 7). Die Montage erfolgt über Gewindebohrungen im Gehäuse. Sackbohrungen in den Profilen der Gleitlagerbuchsen ermöglichen die Unterbringung der

Thermoelemente nahe an den Reibflächen. Beim Einsatz von Wälzfanglagern werden zusätzliche Thermoelemente, Stoßimpulsenoren und Sensoren zum Detektieren der Umrollungsfrequenzen der Wälzelemente sowie des Innenringes an den Wälzfanglagern untergebracht.

2.4 Festigkeitsnachweis

Im Rahmen der konstruktiven Auslegung der Fanglagergehäuse und -buchsen wurden Festigkeitsuntersuchungen mit Hilfe der Software Ansys durchgeführt. Dabei wurde die maximal zu erwartende Lagerkraft als Last angenommen und statisch in der FEM-Simulation auf den Rotor aufgeprägt.

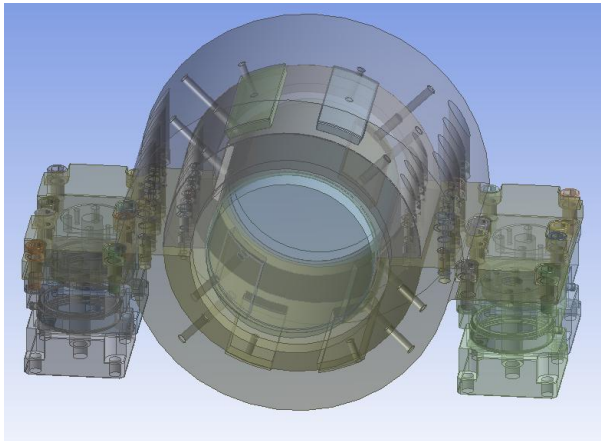


Abbildung 9: ANSYS Geometrie

Die Simulation wurde unter Festlegung folgender Randbedingungen durchgeführt:

- Keine Verschiebung der Welle in axialer Richtung
- Auflagefläche der Kraftsensoren druckbehälterseitig ortsfest
- Definition verschiedener Lastschritte (Schraubenvorspannkraft/Gewichtskraft, externe Kraft)
- Externe Kraft von 180 kN an der Welle

Nach der Parametrierung aller Kontaktpaarungen (Verbund, reibungsbehaftet, reibungsfrei) wurde das in Abbildung 10 dargestellte FEM-Netz erstellt.

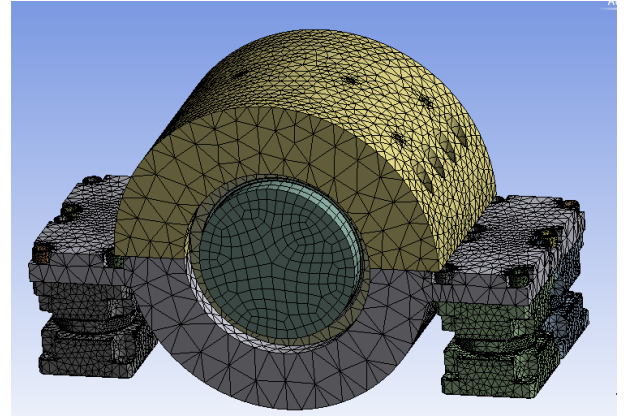


Abbildung 10: FEM-Netz

Nach Abschluss der Simulation erfolgten die Auswertung und die Überprüfung hinsichtlich der Verformung und Spannungen. Tabelle 4 zeigt die zulässigen Spannungen (Streckgrenze) der verwendeten Materialien.

| Komponente | $R_{p0.2}$ |
|---------------------|------------|
| Gleitlagerbuchse | 250 MPa |
| Schrauben | 900 MPa |
| Gehäuse/Stahlmantel | 800 MPa |

Tabelle 4: maximal zulässige Spannungen (Streckgrenze)

In Abbildung 11 sind die Spannungen der Gleitlagerbuchse dargestellt. Durch die Linienerberührung zwischen Welle und Buchse kommt es dort zum höchsten Krafteintrag entlang der Kontaktfläche. Demzufolge sind an dieser Stelle auch die maximalen Spannungen zu verzeichnen.

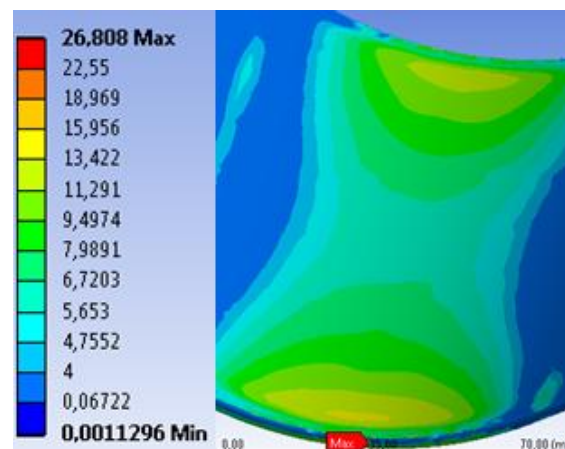


Abbildung 11: Spannungsverteilung in der Gleitlagerbuchse in MPa am Kontakt Welle/Gleitlagerbuchse

Die maximale elastische Verformung tritt ebenfalls an der Linienberührung der Welle mit der Gleitlagerbuchse auf und liegt bei 0,067 mm und damit im akzeptablen Bereich (Abbildung 12).

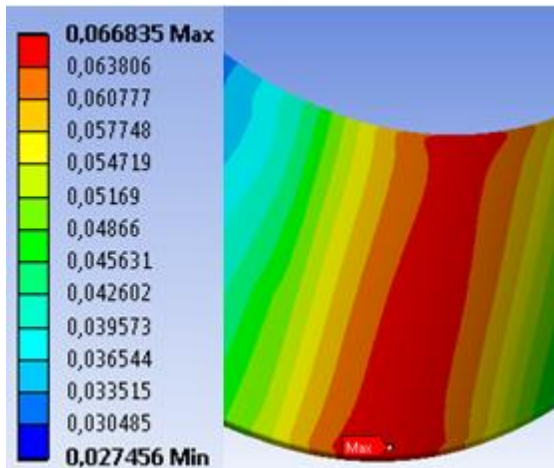


Abbildung 12: Verformung der Gleitlagerbuchse in mm am Kontakt Welle/Gleitlagerbuchse

Die Ergebnisse der Spannungsberechnungen (Tabelle 5) zeigen, dass die zulässigen Spannungen an keiner Stelle überschritten werden (vgl. Tabelle 4).

| Komponente | σ |
|----------------------|----------|
| Gleitlageroberteil | 16 MPa |
| Gleitlagerunterteil | 27 MPa |
| Stahlmanteloberteil | 175 MPa |
| Stahlmantelunterteil | 50 MPa |
| Gehäuseoberteil | 290 MPa |
| Gehäuseunterteil | 60 MPa |
| M16 Schrauben | 660 MPa |
| M10 Schrauben | 328 MPa |

Tabelle 5: Berechnete maximale Spannungen

Die Spannungen treten vor allem im Bereich der Schraubenverbindungen auf, da dort die maximalen Vorspannkkräfte wirken.

3 Zusammenfassung

Durch die geplante Versuchsanlage soll die Möglichkeit geschaffen werden zukünftige Lösungen für Magnet- und Fanglager unter

extremen Umgebungsbedingungen zu entwickeln und zu testen. Ziel ist es Auslegungs- und Simulationstools für Magnet- und Fanglager für den Einsatz unter verschiedenen Umgebungsbedingungen an der Versuchsanlage zu validieren.

Zum derzeitigen Stand befindet sich der Versuchsstand in der Detailplanungsphase. Die Errichtung ist für das erste Quartal 2014 geplant.