

Ursachenanalyse zu Fundamentalschwingungen an einem Hyper-Verdichter

Beim ersten mechanischen Probelauf eines Hyper-Verdichters in einer neuen LDPE-Anlage in Asien wurden überhöhte Schwingungen am Maschinenfundament festgestellt. Der Kolbenkompressor mit einer Leistung von ca. 20 MW soll Ethylen von 250 bar auf einen Enddruck von 2800 bar in zwei Stufen verdichten. Zur Ursachenanalyse wurde durch KÖTTER Consulting Engineers (KCE) eine umfangreiche messtechnische Untersuchung vor Ort durchgeführt. Das Ziel war zunächst eine detaillierte Vermessung der Bewegungen des Kompressorfundamentes während eines weiteren mechanischen Probelaufs des Kompressors.

Die Fundamentalschwingungen, d. h. die Schwinggeschwindigkeiten, wurden an zahlreichen ausgewählten Positionen am Fundament zeitgleich mit einem Mehrkanalmesssystem erfasst. Einen Auszug der Messpositionen zeigt die Abbildung 1.1. An allen Messpositionen am Fundament wurde in drei Raumrichtungen x, y und z gemessen. Um Schwachstellen der gesamten Fundamentierung, die aus einer Pfahlgründung, der Pfahlkopfplatte, Betontisch und der Verbindung Betontisch-Fundament besteht, aufdecken zu können, wurden auch zwei Messpunkte auf der Pfahlkopfplatte (Pile Cap) ca. 2 m unter Flur vorbereitet, MP9 und MP10, s. Abbildung 1.1. Darüber hinaus wurden die Maschinenschwingungen von Kompressor und elektrischem Antrieb an unterschiedlichen Positionen gemessen.

Die höchsten Schwinggeschwindigkeiten auf dem Fundament wurden in horizontaler y-Richtung an MP1 mit 4,6 mm/s bei 3,3 Hz festgestellt. Die Frequenz entspricht der Drehzahl des Verdichters von 200 1/min. Die Messergebnisse zeigten, dass das gesamte Fundament mit der Pfahlkopfplatte sich wie ein Starrkörper verhielt und eine Kippbewegung vollführte (Abb. 1.3). Das bedeutete, dass die Gründung des Kompressorfundamentes keinen ausreichenden Widerstand gegen die freien Kräfte und Momente des Kompressorkurbeltriebs leisten konnte.

Für die Erarbeitung von Lösungen zur Ertüchtigung des Fundamentes wurde unter anderem durch KCE eine Berechnungsstudie durchgeführt. Hierbei wurde die gesamte Aufstellung inklusive der Pfahlgründung in einem 3D-FEM-Modell abgebildet.

Die Ergebnisse zeigten, dass das zulässige Schwingungsniveau am Fundament nur mit aufwändigen Tiefbaumaßnahmen erreicht werden konnte. Tatsächlich wurde jedoch eine Bodenverbesserung durch eine sogenannte Low-Pressure Bodeninjektion (Einpressen von Betonflüssigkeit in den Untergrund) vorgenommen, die nach einem erneuten Probelauf zwar eine Verringerung der Fundamentalschwingungen zeigte, jedoch erwartungsgemäß nicht das angestrebte Niveau erreichte.

Daraufhin wurde unter anderem vereinbart, dass der Schwingungszustand des Hyper-Verdichters kontinuierlich überwacht wird.

Zusätzlich wurden während der weiteren Inbetriebnahmephase der Anlage durch KCE detaillierte Schwingungsmessungen vorgenommen, die nicht nur zur Kontrolle und Überwachung der Fundament- und Maschinenschwingungen sondern auch der Rohrleitungsschwingungen des saug- und druckseitigen Leitungssystems des zweistufigen Hyper-Verdichters dienen (Abb. 1.4).

Wie befürchtet traten am Rohrleitungssystem lokal Überschreitungen der frequenz-abhängigen Orientierungswerte für zulässige Schwinggeschwindigkeiten nach VDI 3842 auf. Dies betraf vor allem die druckseitigen Rohrleitungen der ersten Stufe, s. Beispiel in Abbildung 1.5. Hier wurden zum Teil Sofortmaßnahmen getroffen wie z. B. das Einsetzen von provisorischen Abstützungen, Holzkeilen etc., die später durch entsprechende Stahlkonstruktionen ersetzt wurden, s. Abbildung 1.6.

MASCHINENDYNAMIK

Wie befürchtet traten am Rohrleitungssystem lokal Überschreitungen der frequenz-abhängigen Orientierungswerte für zulässige Schwinggeschwindigkeiten nach VDI 3842 auf. Dies betraf vor allem die druckseitigen Rohrleitungen der ersten Stufe, s. Beispiel in Abbildung 1.5. Hier wurden zum Teil Sofortmaßnahmen getroffen wie z. B. das Einsetzen von provisorischen Abstützungen, Holzkeilen etc., die später durch entsprechende Stahlkonstruktionen ersetzt wurden, s. Abbildung 1.6.

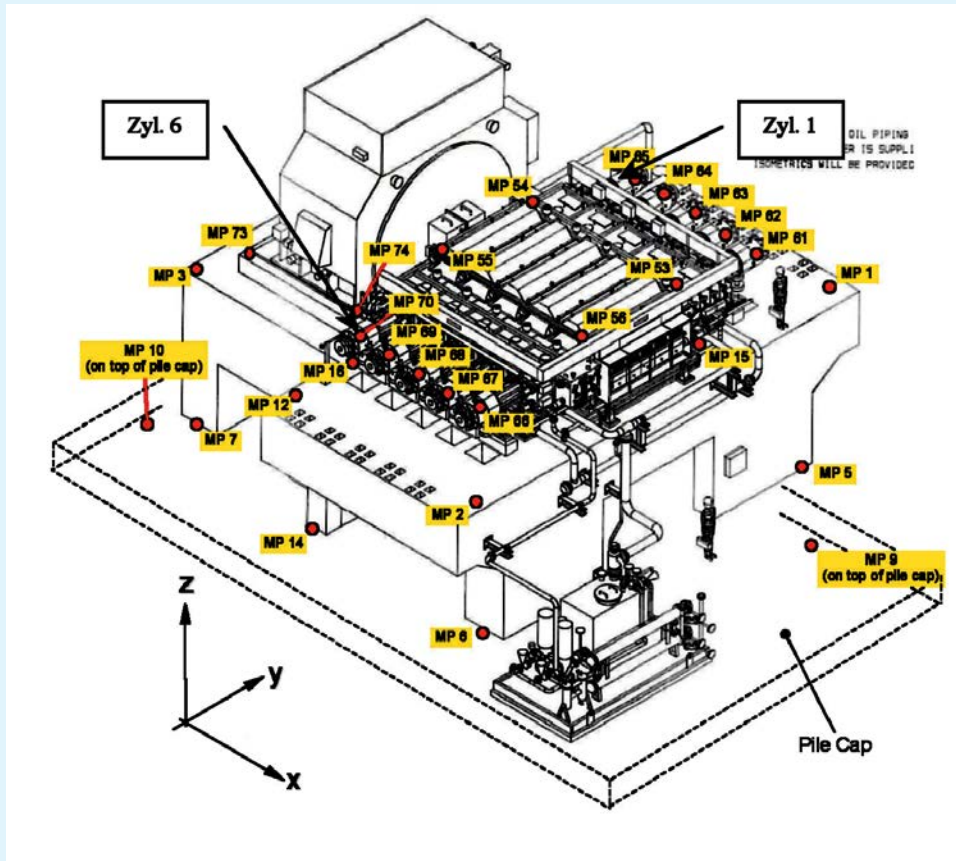
Für den Dauerbetrieb der Anlage wurde aufgrund des nicht bekannten Langzeitverhaltens der Bodeninjektion unter anderem empfohlen, die Fundament-, Maschinen- und Rohrleitungsschwingungen an ausgewählten Stellen kontinuierlich zu überwachen. Nach ca. einem Jahr nach der Inbetriebnahme wurden zur Kontrolle nochmals detaillierte Schwingungsmessungen in der Anlage durchgeführt. Die Fundamentalschwingungen zeigten ein unverändertes Niveau.

Insgesamt läuft die Anlage nun seit ca. drei Jahren zuverlässig. Der Fall zeigt, dass mit einem entsprechenden Konzept und Know-How in Einzelfällen Schwingungen z. B. wie hier am Fundament, die ein bestimmtes Richtwertniveau in gewissen Grenzen überschreiten, für den Dauerbetrieb toleriert werden können.



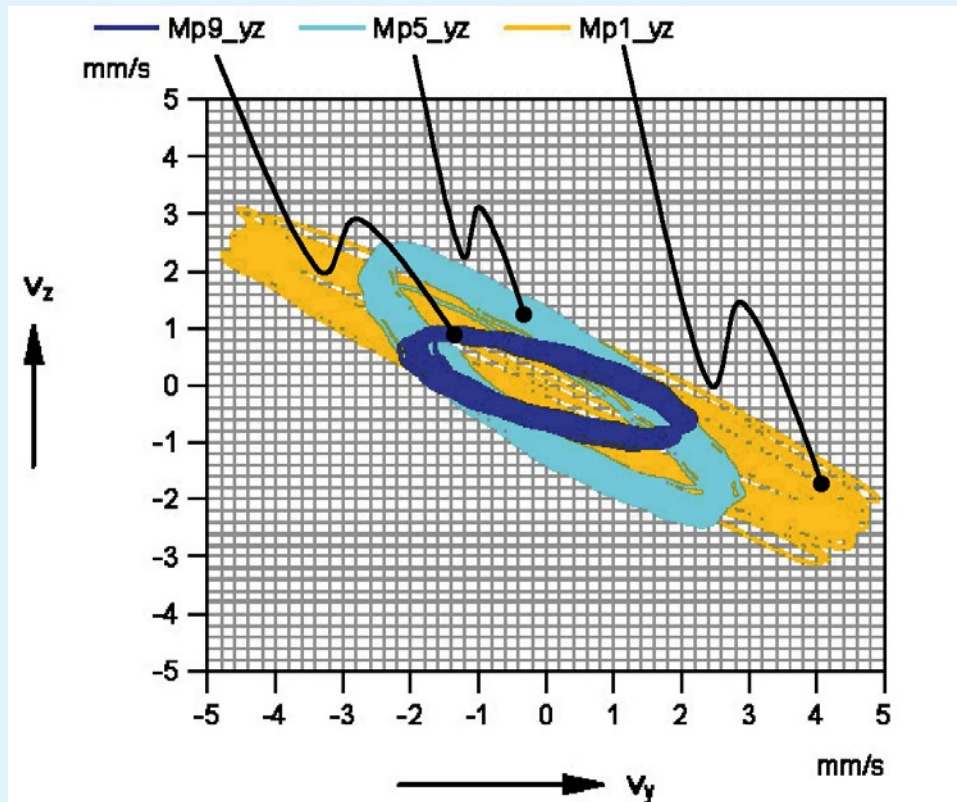
LDPE-Anlage in Asien

MASCHINENDYNAMIK



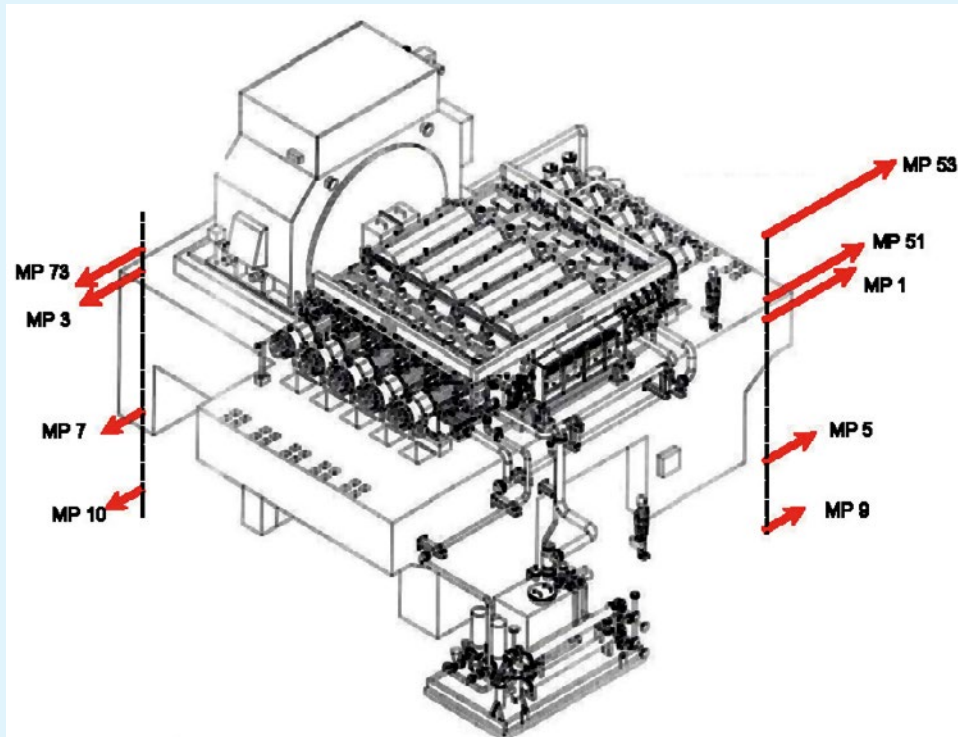
Schwingungsmesspunkte an Fundament, Hyperverdichter und E-Motor.

MASCHINENDYNAMIK



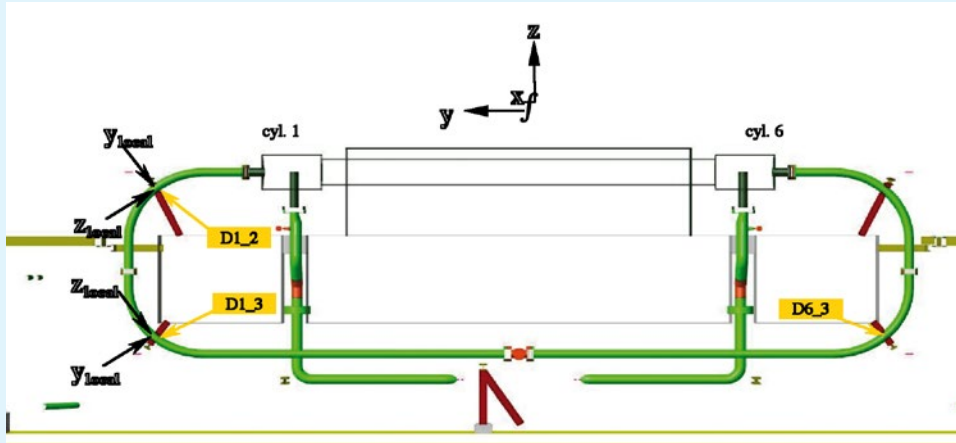
Bewegung in der y/z-Ebene (Orbitdarstellung), gemessene Schwinggeschwindigkeiten an den Messpunkten MP9, MP5 und MP1.

MASCHINENDYNAMIK

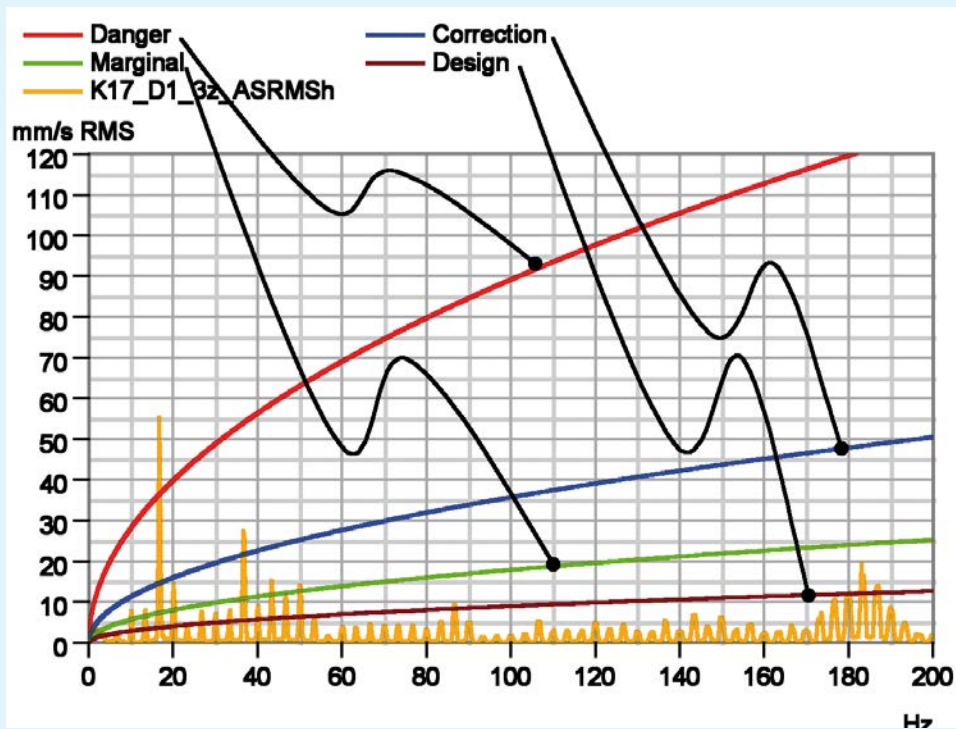


Relative Auslenkungen (Betrag) in y-Richtung über der Höhe aufgetragen, alle Bewegungen sind gleichphasig, Pfeilsprung entspricht nicht der physikalischen Messposition.

MASCHINENDYNAMIK

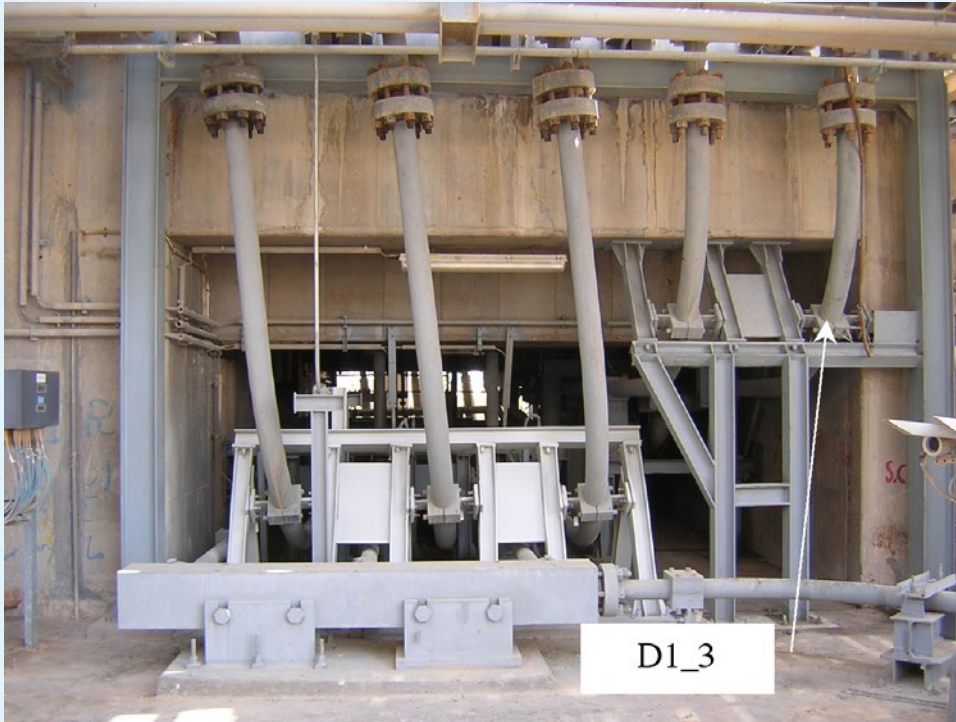


Messpositionen am verdichternahen Rohrleitungssystem des Hyperverdichters, Schnittzeichnung durch Maschine und Fundament in der y-z-Ebene (vgl. a. Abb. 1.1), Leitungen der 1. Stufe Zylinder 1 und 6.



Peak-Hold-Spektrum der in z-Richtung gemessenen Schwinggeschwindigkeit an Messposition D1_3 während des Ethylen-Startup der Anlage, frequenzabhängige Orientierungswerte nach VDI Richtlinie 3842.

MASCHINENDYNAMIK



Messpunkt D1_3 mit Modifikation der Abstützung.



Kontakt:

Dr.-Ing. Jan Steinhausen

Telefon: +49 5971 9710-64

j.steinhausen@koetter-consulting.com