

Modernisierung einer Sauerstoffverdichteranlage – ein Erfahrungsbericht

Dipl.-Ing. Florian Pahnke, Dr.-Ing. Jan Steinhausen

Der Um- und Ausbau bestehender Verdichteranlagen stellt insbesondere bei dem sensiblen Medium Sauerstoff eine Herausforderung für Betreiber, Planer und ausführende Kräfte dar. Am Beispiel der Modernisierung der Sauerstoffverdichtung in einer Luftzerlegungsanlage berichtet der vorliegende Aufsatz über die Erfahrungen bei der Projektierung und Inbetriebnahme. Ein Schwerpunkt hierbei liegt auf dem Vorgehen bei der schwingungstechnischen Auslegung der Maschinenaufstellung.

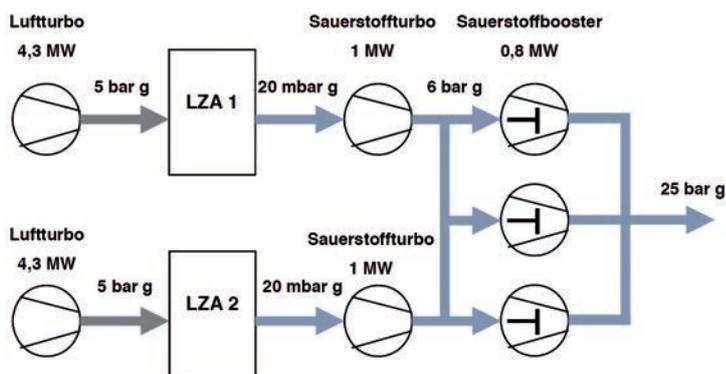


Abb. 2: Prozessschema Verdichtung (Stand 1962)

Historie

Im Jahre 1854 ging der erste Hochofen am Standort Dortmund Hörde (Phoenix) in Betrieb. Über die Jahrzehnte expandierte das Stahlwerk und der Sauerstoffbedarf für die Erzeugung von Roheisen und Stahl stieg weiter. Im Jahre 1962 entschied sich die Dortmunder Hörder Hütten Union, zwei neue Luftzerlegungsanlagen (LZA) zu errichten. Diese wurden auf einer Fläche im Werksteil Phoenix-West errichtet.

Die Sauerstoffkapazität der beiden Anlagen lag bei 16.000 Nm³/h. Nach der Erzeugung wurde der Sauerstoff

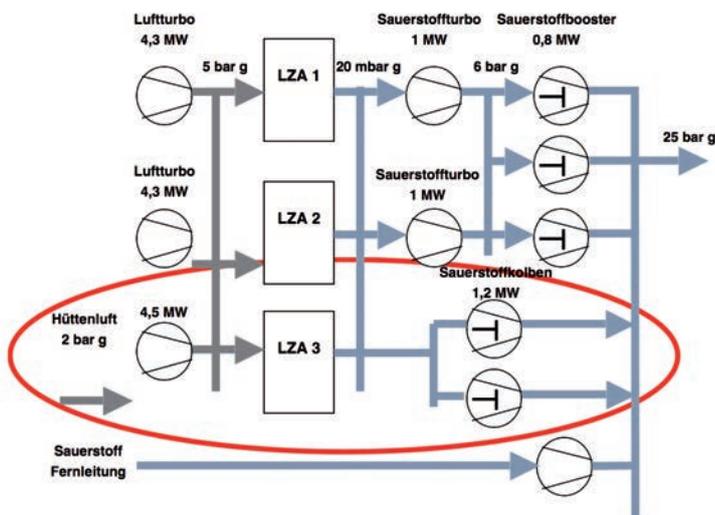


Abb. 3: Prozessschema Verdichtung (Stand 1989)



Abb. 1: Bau der ersten beiden Anlagen im Jahr 1960

verdichtet und in das 25 bar Werksnetz in Richtung Hochöfen und Konverter eingespeist.

Um den steigenden Bedarf an Sauerstoff decken zu können, erfolgte 1976 ein Anschluss an das Rhein-Ruhr Sauerstoffnetzwerk. 1989 wurde eine dritte Luftzerlegungsanlage durch den führenden Hersteller technischer Gase errichtet, welche die bereits vorhandene Standort-Sauerstoffkapazität verdoppelte.

Durch die Bevorzugung des rhein nahen Standortes Duisburg wurde das Ende der Stahlproduktion in Dortmund eingeleitet und 1998 eingestellt. Mit diesem Umstand war gasförmiger Sauerstoff in dieser Region

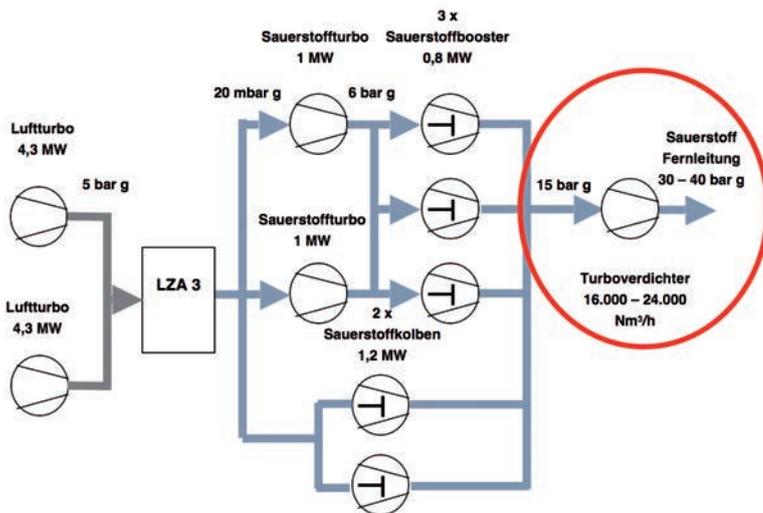


Abb. 4: Prozessschema Verdichtung (Stand 1998-2015)

auf einmal ein überflüssiges Produkt. Da aber schon in der 90er Jahren der Stickstoffbedarf in den in Dortmund ansässigen Walzwerken anstieg, gab es neben den Flüssigprodukten (tiefkalt verflüssigte Luftgase) eine Stickstofftransportleitung in ein nahe liegendes Walzwerk.

Um den Betrieb wirtschaftlich weiter betreiben zu können, wurden die beiden alten Luftzerlegungsanlagen abgerissen und der Fernleitungs-Import-Booster auf einen Export-Booster umgerüstet (vom Sauerstoff-Importeur zum Exporteur).

Projektierung der neuen Sauerstoffverdichteranlage

Motivation und Konzept

2014 wurden die vorhandenen Anlagen durch den Anbieter übernommen. Für die Übernahme wurden zahlreiche Zukunftskonzepte, mögliche Ertüchtigungsmaßnahmen und deren Investitionskosten untersucht. Die größten Schwierigkeiten ergaben sich neben der Elektrotechnik in der Sauerstoffverdichtung. Wie in der Einleitung bereits skizziert, hatte sich die Anlagen- und Verdichterkonstellation über die Jahrzehnte etliche Male geändert. Das Equipment selbst ist überwiegend aus den Standortgründungsjahren (1962).

Aufgrund von Defiziten in der Verfügbarkeit und des nicht dem „Stand der Technik“ entsprechenden Sauerstoffsystems musste eine Lösung gefunden werden, die in Hinblick auf den

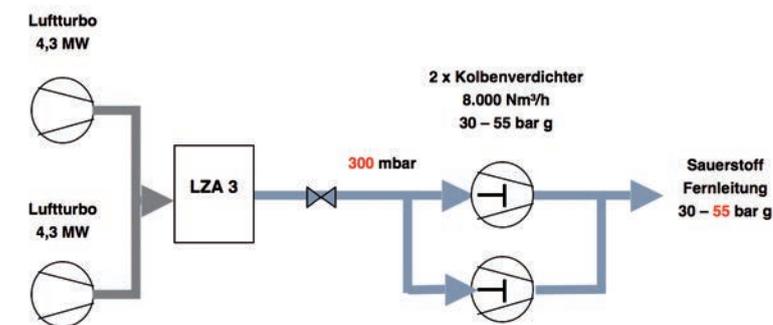


Abb. 5: Konzept Prozessschema neue O₂-Verdichtung (Stand 2014)

sicheren, verfügbaren und wirtschaftlichen Betrieb ein Optimum darstellt.

Die Auswertung ergab das in Abbildung 5 dargestellte Konzept:

- Es werden zwei neue Sauerstoffkolbenverdichter installiert, die zum Anlagendruck passen und deren Fördermenge dem Sauerstoffäquivalent eines Luftverdichters entspricht.
- Die Verdichter müssen über einen guten Turndown (Teillastbetrieb) verfügen, um Verluste durch Ausblasungen oder Produktionsanpassungen zu vermeiden.
- Das gesamte Rohrleitungssystem zwischen Austritt Luftzerlegung und Eintritt Fernleitung wird erneuert.
- Der maximale Enddruck wird auf 55 bar g erhöht, um in einem Backupszenario die erforderlichen Mengen über das Fernleitungssystem darstellen zu können.

Als Randbedingungen sind die folgenden Punkte einzuhalten:

- Der Stand der Technik für die Verdichtung von Sauerstoff muss eingehalten werden (EIGA IGC 10/09, diverse Konzernrichtlinien, M034 der BG...).
- Die Verdichter müssen in der vorhandenen Maschinenhalle installiert werden (beengte Platzverhältnisse).
- Die Anlage muss während der Installation in Betrieb bleiben.
- Die Verdichteranlage soll konform zum API Standard 618 sein.

Zeitschiene und Projekttablauf

Die Projektlaufzeit betrug insgesamt 18 Monate. Auf Basis technischer und kommerzieller Gesichtspunkte wurde eine Marktanalyse durchgeführt. Hierbei waren gewisse Parameter bewusst gewählt (z. B. die maximale Fördermenge, Turndown, Enddruck), um eine möglichst große Auswahl an passenden Maschinen zu erhalten.

Für die neuen Verdichter wurde eine sehr detaillierte Spezifikation erstellt, in der alle maschinenrelevanten Daten vorgegeben waren (Performance, zulässige Kräfte, Test Procedures, Quality Aspects). Nach der Auswahl des Lieferanten und Maschinentyps wurde diese entsprechend angepasst. Da es sich nicht um ein klassisches EPC-Projekt handelte, wurde eine schmale Organisation gewählt, welche in den wichtigsten Positionen (Projektleitung, EMSR, Bauwesen, Piping) durch internes und externes Personal besetzt wurde. Ein großes Ziel bestand darin, die Schnittstellen

auf ein Minimum zu beschränken. Um die Investkosten zu reduzieren, wurde vorerst auf den zweiten Verdichter verzichtet.

Eine erste grobe Bau- und Rohrleitungsplanung wurde mittels 3D-Laserscanning-Verfahren vorgenommen. Vor der Entscheidung über den finalen Aufstellungsort der Maschinen wurden an verschiedenen Punkten im möglichen Baubereich Probebohrungen durchgeführt, die eine Aussage zu der erforderlichen Gründung liefern sollten. Auf Basis der Bodenproben, der durch den Lieferanten bereitgestellten Fundamentpläne und Kompressorenkräfte wurden erste dynamische Berechnungen durchgeführt, die erste Aussagen über die erforderliche Gründung zuließen. Dieses Wissen ist insbesondere beim Bau der Fundamente in der bestehenden Maschinenhalle von elementarer Bedeutung.

Nach der Festlegung, die Maschinen in der vorhandenen Maschinenhalle zu installieren, wurden die Verdichter und Fundamente so angepasst, dass beide Maschinen baugleich aufgestellt werden können. Hierfür wurden im Wesentlichen die Rohrleitungen und die Positionen von Kühlern und Behältern verändert. Die Errichtung eines durchgängig rechteckigen Fundamentes war aufgrund der Nähe zu vorhandenen Hauptfundamenten der Maschinenhalle nicht möglich. Hier wurde eine spezielle exzentrische Form realisiert, um eine

gute Entkopplung zum Bestand herzustellen.

Während eines regulären Anlagenstillstandes wurden diverse Prozessleitungen umgelegt und die Einbindpunkte für die neuen Verdichter vorbereitet. Des Weiteren wurde ein neuer Ausblaskamin aus Fertigbetonteilen für Luft und Sauerstoff errichtet.

Die so genannte Safety Barrier (Beton-einhausung) für den neuen Sauerstoffverdichter wurde aus Fertigbetonteilen gefertigt und an drei Seiten aufgestellt. Eine Seite blieb zunächst frei, um den Aufbau der Rohrleitungen und Maschinenteile nicht zu behindern, siehe Abb. 6. Die Anforderungen an die Sauerstoffreinheit erfordern ein hohes Maß an Inspektionen und Qualitätssicherung. Nach Abschluss des Rohrleitungsbaus wurde die EMSR-Technik installiert. Jedes Instrument wurde außerhalb der Safety Barrier verlegt, um die Notwendigkeit, den Verdichter während des Betriebes zu betreten, auszuschließen.

Überprüfung der schwingungstechnischen Auslegung der neuen Sauerstoffverdichteranlage

Aufgabenstellung

Während der Planungsphase der neuen Sauerstoffkolbenverdichteranlage wurden zur schwingungstechnischen Absicherung im Wesentlichen drei Punkte (A, B, C) untersucht. Zum einen wurde vom Verdichterhersteller (OEM) eine rechnerische Pul-

sations- und Vibrationsstudie (A) der Anlage sowie eine Torsionsanalyse (B) des Antriebsstranges bestehend aus E-Motor, elastischer Kupplung und Verdichterkurbelwelle durchgeführt. Zudem erfolgten Berechnungen zur dynamischen Auslegung der Kompressorfundamente (C) durch ein externes Bauingenieurbüro.

Da der schwingungstechnischen Planung einer Kolbenverdichteranlage eine besondere Bedeutung zukommt, wurde vom Bauherrn noch eine spezialisierte Fachfirma (technischer Berater) herangezogen, die eine unabhängige Überprüfung der schwingungstechnischen Auslegung bzw. der dazugehörigen Berechnungen vornahm. Zudem sollte nach der Inbetriebnahme des Verdichters die tatsächliche Pulsations- und Schwingungssituation messtechnisch erfasst und abschließend bewertet werden.

Hersteller	Burckhardt Compression AG
Typ	4D300B-3AB-1
Bauart	Reihe, stehend
Medium	Sauerstoff
Zylinderanzahl	4
Stufenanzahl	3
Arbeitsweise	doppelt wirkend
Pleuellänge	725 mm
Leistung	1.450 kW
Mengenregelung	über Drehzahlvariation
Drehzahl	225 min ⁻¹ – 450 min ⁻¹
Kolbenhub	300 mm
Saugdruck, 1. St.	1,35 bar a – 1,45 bar a
Enddruck, 3. St.	31,8 bar a – 52,0 bar a
Saugtemp., 1. St.	5°C
Endtemp., 3. St.	94°C – 137 °C

Tabelle 1: Technische Daten und Betriebsbedingungen der neuen Sauerstoffverdichter

Zur Prüfung der Pulsations- und Vibrationsstudie

Die Pulsationsdämpfer stellen das Herzstück für einen möglichst pulsationsarmen Betrieb eines Kolbenkompressors dar. Deshalb wurde die



Abb. 6: Verdichter M15 kurz vor der Inbetriebnahme

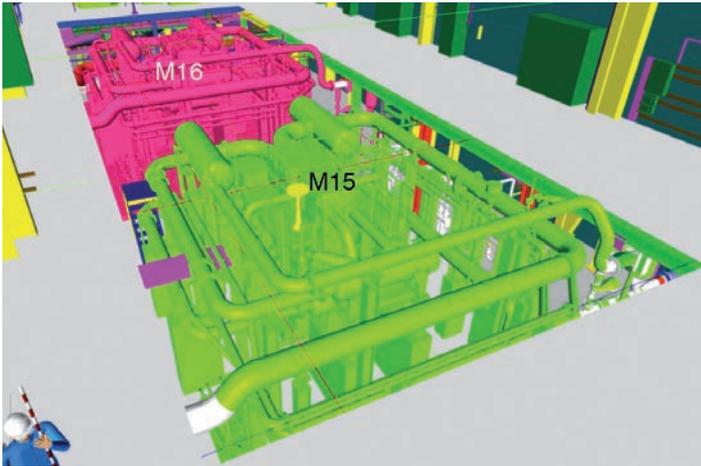


Abb. 7: Halleninnenansicht (CAD-Modell) von oben auf die beiden neuen Sauerstoff-Kolbenverdichter M15 und M16 mit den Fundamenten im Untergeschoss, Darstellung ohne die Betonwände (Safety Barrier) rund um die Verdichter.

akustische Auslegung der Pulsationsdämpfer (ohne interne Einbauten) durch eigene Simulationsrechnungen des beratenden Fachbüros geprüft. Die Ergebnisse der Berechnungen zeigten, dass die Pulsationsdämpfer insgesamt gut auf den Verdichterbetrieb abgestimmt sind.

Als Grundlage für die Prüfung der vom Hersteller durchgeführten Pulsations- und Vibrationsstudie wurden die vorgelegten Berichte und Unterlagen verwendet. Bei den Pulsationsberechnungen des Gesamtsystems wurde sowohl der Einzelbetrieb (M15) als auch der Parallelbetrieb beider Verdichter (M15 und M16) untersucht.

Die vorgelegten Ergebnisse zeigten, dass im ursprünglichen

Planungszustand das zulässige Pulsationsniveau zum Teil erheblich überschritten werden kann. Da dies im Wesentlichen auf akustische Resonanzen zurückzuführen ist, wurde der Einsatz von Lochblenden empfohlen, die an den Anschlüssen der Pulsationsbehälter installiert werden. Diese Methode ist üblich und widerspricht nicht einer guten akustischen Auslegung der Pulsationsdämpfer.

Mit dem Einsatz der Blenden wurde lediglich im Leitungssystem auf der Druckseite stromab des zweiten Verdichters M16 das nach API zulässige Pulsationsniveau leicht überschritten. Die Zulässigkeit des daraus resultierenden, durch die Gaskräfte erzwungenen Schwingungsniveaus des Rohr-

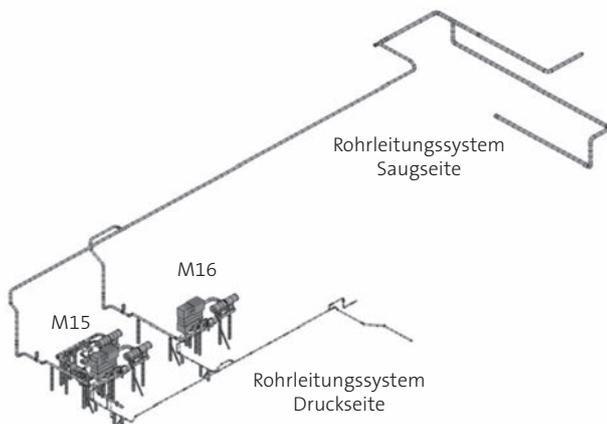


Abb. 8: Skizze zum Modellbereich des Rohrleitungssystems für die Pulsations- und Vibrationsanalyse (Quelle: Burckhardt Compression AG).

VER...HEIZEN...

verheizen.hoerbiger.com



leitungssystems wurde im strukturdynamischen Teil der Studie überprüft. Dieses Vorgehen ist zulässig und konform zum API Standard 618.

Insgesamt zeigte die Prüfung und Diskussion der Ergebnisse, dass keine zusätzlichen Maßnahmen über die Empfehlungen des Herstellers hinaus erforderlich waren.

Zur Prüfung der Torsionsanalyse

Die Aufgabe der Torsionsanalyse des Antriebsstrangs – hier bestehend aus den Hauptkomponenten E-Motor, elastische Kupplung und Kurbelwelle des Kolbenverdichters – ist, überhöhte resonante Dreherschwingungen im gesamten Drehzahlbereich des Verdichters zu vermeiden.

In einem ersten Schritt wurde vom Verdichterhersteller die hochelastische Kupplung als eine einzelne Torsionsfeder vereinfachend abgebildet, siehe Abb. 9 oben. Der konstruktive Aufbau der Kupplung besteht im Detail jedoch aus vier elastischen Einzelelementen. Daher wurde für die Prüfung der Torsionsanalyse (Teilaufgabe B, siehe Abschnitt 7) vom Berater ein Modell erstellt, in dem der mehrteilige Aufbau der Kupplung berücksichtigt wurde, siehe Abb. 9 unten. Hiermit sollte die Lage der berechneten Eigenfrequenzen überprüft werden.

Die unterste Eigenfrequenz entsprach erwartungsgemäß der Bewegungsform (Eigenform), bei der die Motorwelle auf der einen Seite der

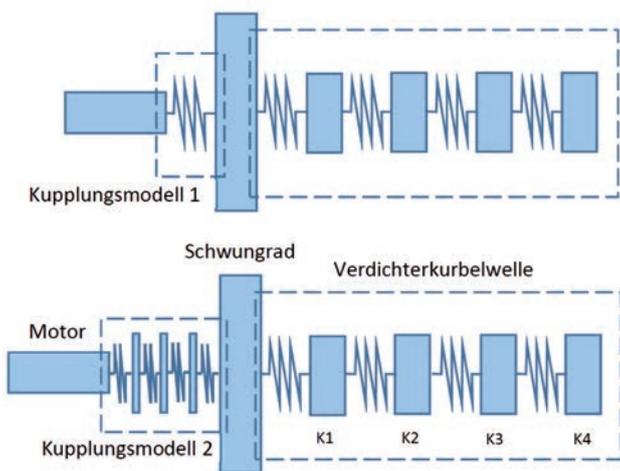


Abb. 9: Schematischer Aufbau des Antriebsstrangmodells zur Torsionsanalyse, oben: vereinfachter Ansatz der Kupplung, unten: erweiterter Ansatz der Kupplung.

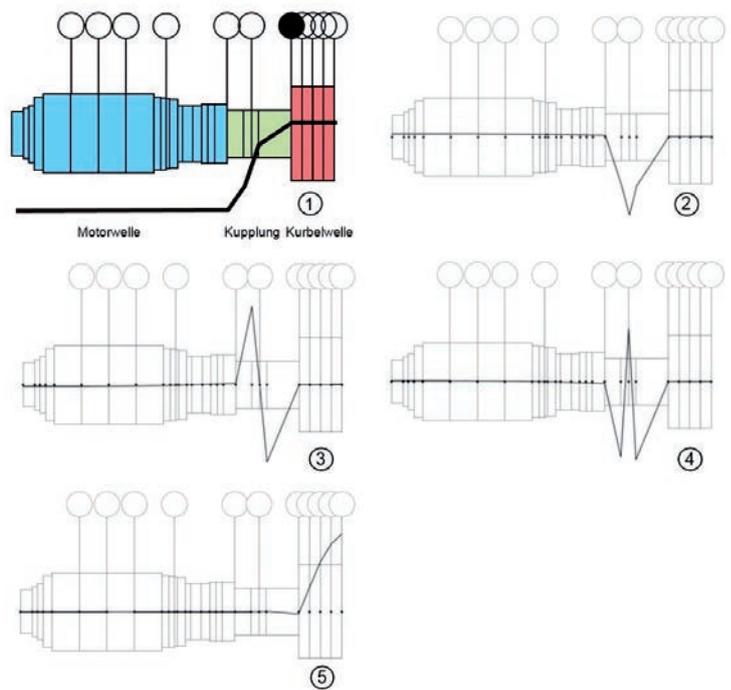


Abb. 10: Berechnete Torsionseigenformen (dicke Linie) - Nr. 1 (3,1 Hz), Nr. 2 (23,3 Hz), Nr. 3 (50,8 Hz), Nr. 4 (59,0 Hz), unten: Nr. 5 (97,5 Hz).

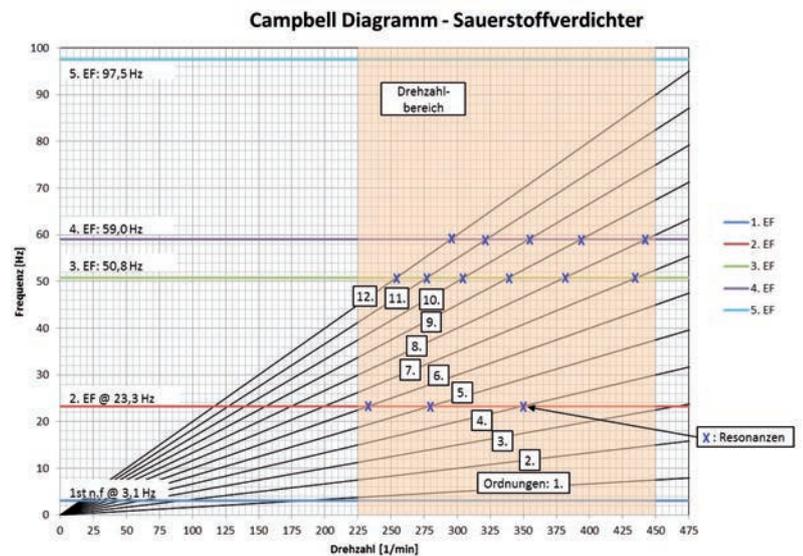


Abb. 11: Resonanzschaubild (Campbell-Diagramm) für die Torsionseigenfrequenzen des Sauerstoffverdichters bis zur 5. Eigenform (EF) und der 12. Ordnung der Drehzahl, rotes Feld: Betriebsdrehzahlbereich des Verdichters.

Kupplung und die Verdichterkurbelwelle (mit Schwungrad) auf der anderen gegenphasig zueinander schwingen, siehe Abb. 10, Nr. 1. Es verformen sich nur die Kupplungselemente, die Motorwelle und die Verdichterkurbelwelle verhalten sich wie Starrkörper.

Die folgenden Eigenfrequenzen bzw. -formen, Nr. 2, 3 und 4 (siehe Abb. 10), entsprechen Bewegungsformen, bei denen hauptsächlich

nur die Kupplungselemente beteiligt sind. Die Wellenabschnitte vor und nach der Kupplung zeigen kaum eine Verformung. Trägt man die berechneten Eigenfrequenzen in ein Resonanzschaubild ein, erkennt man, dass diese Kupplungseigenfrequenzen durch bestimmte Ordnungen (Vielfache) der Drehzahl angeregt werden können (Resonanzfälle), a. Abb. 11.

Zur rechnerischen Prüfung der Torsionsbelastungen innerhalb der Kupplung wurde deshalb durch den Hersteller das Modell entsprechend des mehrteiligen Kupplungsaufbaus ergänzt. Es stellte sich heraus, dass die resultierenden Drehmomente in der Kupplung unterhalb der zulässigen Werte liegen und somit keine überhöhten Torsionsschwingungsbelastungen zu erwarten sind.

Zur Prüfung der dynamischen Auslegung des Fundaments

Die Hauptaufgabe der dynamischen Berechnungen zur Fundamentauslegung liegt darin, Resonanzfälle für die relevanten untersten Eigenfrequenzen der Maschinenaufstellung zu vermeiden. Dies sind in der Regel die möglichen 6 Starrkörpereigenformen der starr aufgestellten Maschine auf dem Fundamentblock, der auf dem elastischen Untergrund gegründet ist, siehe auch Abb. 12.

Entsprechend des Drehzahlbereichs der Sauerstoffverdichter ergeben sich für die anregenden freien Massenkräfte die Frequenzbereiche nach Tabelle 2.

Aus den Angaben des Maschinenherstellers ging hervor, dass auf das Fundament vertikale Kräfte sowohl in der 1. als auch in der 2. Ordnung ein-

Drehzahl		Ordnung		
		1. 2.		
n_{\min}	225 min ⁻¹	f_{\min}	3,8 Hz	7,5 Hz
n_{\max}	450 min ⁻¹	f_{\max}	7,5 Hz	15,0 Hz

Tabelle 2: Drehzahl- und Frequenzbereiche der Anregung durch Massenkräfte des Kolbenverdichters.

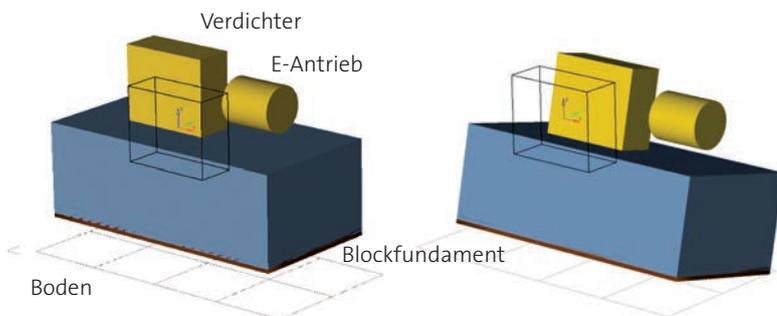


Abb. 12: Zwei ausgewählte Beispiele der 6 möglichen grundlegenden Eigenformen (modes) der Maschinenaufstellung (schematisch) auf dem elastischen Boden. Gittermodell des Verdichters und der unteren Ebene des Blockfundaments: unausgelenkte Lage, links: Eigenform mit rein vertikaler Auslenkung (Hubeigenform), rechts: Kippen um die Längsachse (Rocking-Mode).

Massenkräfte und -momente			
		1. Ord.	2. Ord.
R_{for}	horizontal [kN]	0	0
R_{for}	vertikal [kN]	12,3	10,4
R_{mom}	horizontal [kNm]	75,6	0
R_{mom}	vertikal [kNm]	221	83,4

Tabelle 3: Amplituden der freien Massenkräfte (R_{for}) und Massenmomente (R_{mom}) um die jeweilige Achse aus dem Verdichterbetrieb nach Herstellerangabe.

wirken, siehe Tabelle 3. Tatsächlich wurde jedoch bei den zu prüfenden Berechnungen nur der Frequenzbereich der 1. Ordnung betrachtet, also nur bis 7,5 Hz.

Das Fundament wurde im Berechnungsmodell als rechteckiger Betonblock und die Massen des Verdichters sowie E-Motors als Punktmassen berücksichtigt. Die Ersatzsteifigkeit des Bodens wurde über den dynamischen Bettungsmodul entsprechend des Baugrundgutachtens ermittelt. Für die Betriebsschwingungsberechnung wurde ein Dämpfungsgrad von 15% angesetzt, der als konservativ betrachtet werden darf.

Das angestrebte Ziel der dynamischen Auslegung des Fundamentes war, eine Eigenfrequenz der Verdich-

teraufstellung (Betonblock mit Maschineneinheiten auf elastischem Boden) nach DIN 4024 zu erreichen, so dass diese 25% oberhalb der maßgebenden Erregerfrequenz aus dem Maschinenbetrieb liegt.

Die berechneten sechs Eigenfrequenzen lagen im Bereich zwischen ca. 11,0 Hz und 20,0 Hz. Die Eigenfrequenzen bzw. Eigenformen (Bewegungsformen) sind in Tabelle 4 mit der Zuordnung einer möglichen Anregung aus den Massenkräften und -momenten der 1. und 2. Ordnung dargestellt. Es fällt die 4. Eigenfrequenz für die vertikale Hubschwingung bei 16,2 Hz auf, die nur 8% oberhalb von 15 Hz, d. h. der 2. Ordnung von 450 1/min, liegt.

Damit war die Forderung, die Eigenfrequenzen des Fundaments auf 25% oberhalb der maßgebenden Erregerfrequenzen abzustimmen (oberhalb von $1,25 \times 15 \text{ Hz} = 18,75 \text{ Hz}$) zunächst nicht erfüllt. Anhand übersichtlicher Berechnungen durch den Berater konnte jedoch die Eigenfrequenz für die Hubschwingung des Kompressorfundaments in der Nähe von 16 Hz grundsätzlich nachvollzogen werden.

Nr.	Eigenfrequenzen [Hz]			Mode	Resonanz	Bemerkung
	1. Ord.	2. Ord.	> 2. Ord.			
1	-	11,1	-	Schub y	nein	keine Anregung
2	-	11,6	-	Schub x	nein	keine Anregung
3	-	14,1	-	Dreh z	nein	keine Anregung in der 2. Ord.
4	-	16,2	-	Hub	ja	Anregung durch R_{for} , vertikal
5	-	-	18,6	Kipp x	nein	keine Anregung
6	-	-	20	Kipp y	nein	Anregung liegt 33% oberhalb 15 Hz

Tabelle 4: Zuordnung der berechneten Eigenfrequenzen und -formen der Maschinenaufstellung zu einer möglichen Anregung der freien Kräfte und Momente der 1. und 2. Ordnung nach Tabelle 3.

Während der Bauarbeiten, d.h. nach dem Abriss der Fundamente und der Bodenplatte, wurden Differenzen in der Bodenzusammensetzung festgestellt und es stellte sich heraus, dass aus statischen Gesichtspunkten das Gründungskonzept noch einmal geändert werden musste. Es wurde jetzt eine Brunnengründung geplant, die am unteren Ende die Lasten in festes Gestein abtragen kann. Hierdurch ergab sich entsprechend eine höhere Bodensteifigkeit, die sich auch günstiger auf die dynamischen Eigenschaften der Aufstellung auswirken sollte. Jedoch zeigten die Er-

gebnisse auch mit dem steiferen Boden, dass die kritische Eigenform immer noch unterhalb der erforderlichen Eigenfrequenz von 18,75 Hz lag. Die Betriebsschwingungsanalyse zeigte dennoch, dass die zu erwartenden Schwingungsamplituden am Fundament im zulässigen Bereich nach Herstellerangabe lagen.

Bei der Prüfung der neueren Ergebnisse zeigten abschätzende Berechnungen für die neuen Bodenkennwerte im oberen Vertrauensbereich, dass die vertikale Eigenfrequenz ca. 18,9 Hz erreichen kann.

Inbetriebnahme

„Einfahren“ des Labyrinth-Verdichters und Testbetrieb unter Stickstoff

Nach dem erfolgreichen Abschluss der Loopchecks, Funktionsprüfung, Dichtheitsüberprüfung und Drehrichtungsprobe erfolgte der mechanische Testlauf. Der Verdichter wurde dabei ohne Saug- und Druckventile betrieben.

Darauf folgend wurden die einzelnen Kolben eingefahren. Die letzte Prozessstufe (Kurbel 3) wurde dabei zuerst mit Saug- und Druckventilen bestückt. Über die Prozessleitungen wurde der Verdichter mit Stickstoff gefüllt und die Stufentemperatur durch das kontrollierte Zufahren des Bypassventils bzw. durch die Erhöhung der Drehzahl reguliert. Der Kolben wird dabei auf ca. 200 °C erwärmt, dehnt sich der Kolben aus und die Labyrinth des jeweiligen Zylinders schleifen sich ein. Dieser Vorgang wurde für alle Prozessstufen wiederholt, anschließend die Maschine unter Stickstoff einige Stunden bei Nenndruck betrieben.

Inbetriebnahme unter Sauerstoff

Nach einer weiteren Inspektion und Reinigung des Verdichters wurde die Maschine unter Stickstoff gestartet. Über eine Handklappe in der Saugleitung wird langsam Sauerstoff aus dem Prozess hinzugefahren, bis eine Konzentration von 99,5% O₂ erreicht

ist. Nach Überprüfung der gesamten Betriebsparameter und dem Spülen diverser Leitungsabschnitte wurde die Maschine in den Einspeisebetrieb übernommen.

Messtechnische Kontrolle der Schwingungs- und Pulsationssituation

Nach der Inbetriebnahme des Sauerstoffverdichters M15 wurde im Februar 2016 eine messtechnische Kontrolle der tatsächlichen Schwingungs- und Pulsationssituation durchgeführt. Hierzu wurden an ausgewählten Punkten zeitgleich die Rohrleitungs-, Zylinder- und Fundamentalschwingungen sowie die Druckpulsationen innerhalb der Rohrleitungen erfasst.

An der Verdichteranlage wurde ein vergleichsweise niedriges Schwingungsniveau festgestellt. Das Schwingungsniveau an den Rohrleitungen lag deutlich unterhalb des vom Hersteller spezifizierten Wertes (30 mm/s RMS) sowie unterhalb der frequenzabhängigen Orientierungswerte der VDI-Richtlinie 3842. Die Zylinder- und Fundamentalschwingungen lagen ebenfalls weit unterhalb der Zonengrenze A/B (Dauerbetrieb geeignet) nach DIN ISO 10816 – Teil 8.

Die gemessenen Druckpulsationen erreichten lediglich an einem Messpunkt das noch zulässige Niveau gemäß API Standard 618 und lagen an allen weiteren Messpunkten zum größten Teil deutlich darunter.

Anhand der Messergebnisse konnte festgestellt werden, dass die neue Verdichteranlage insgesamt aus schwingungstechnischer Sicht für den uneingeschränkten Dauerbetrieb geeignet ist.

Fazit

Projektrisiken bei der Abwicklung von so genannten „Brownfield“-Projekten lassen sich durch eine systematische Herangehensweise, der Aufstellung eines guten Teams und der Auswahl von starken Dienstleistern, insbeson-

dere im Bereich Engineering, stark minimieren. In diesem Projekt ließen sich durch gute Planung, Reduktion von Schnittstellen und einer hohen Entscheidungskompetenz bei auftretenden Problemstellungen, Zeit und Budget reduzieren. Der Sauerstoff-Kolbenverdichter M15 ist dabei „on Budget“ und 3 Monate vor dem geplanten Termin in Betrieb gegangen.

Die Risiken, die bei der Drehzahlregelung eines Kolbenverdichters auftreten, wurden durch das Einhalten von Regeln, Normen und der guten Ingenieurspraxis auf ein tolerierbares Minimum reduziert.

Dies spiegelt sich ebenfalls in den nach der Inbetriebnahme durchgeführten Messungen wider. Weitere positive Effekte sind von Betreiberseite am deutlichsten in der Effizienz und Regelbarkeit der Maschine zu erkennen.

Literatur

- [1] Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services, API Standard 618, 5th Edition, 2007
- [2] Mechanische Schwingungen – Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen – Teil 8: Hubkolbenkompressoren, DIN ISO 10816 – 8, 2014.
- [3] Reciprocating Compressors for Oxygen Service, Code of Practice, IGC Doc 10/09/E, EIGA, 2009

Autoren:

Dipl.-Ing. Florian Pahnke,
Air Liquide Deutschland GmbH,
Asset Manager Pipeline Plants,
Oberhausen, Deutschland
Dr.-Ing. Jan Steinhausen,
KÖTTER Consulting
Engineers GmbH & Co. KG,
Fachgebietsleiter Pulsationsstudien,
Rheine, Deutschland