

Minimierung der Druckpulsationen bei Stoffauflaufpumpen



Minimierung der Druckpulsationen bei Stoffauflaufpumpen

Die Hauptaufgabe der Stoffauflaufpumpe im Konstanten Teil ist, einen gleichmäßigen Stofffluß mit konstantem Druck zum Stoffauflauf zu erzeugen. Andere Anforderungen sind ein hoher Wirkungsgrad, eine robuste Konstruktion und glatte Innenflächen, damit die Fasern nicht hängenbleiben.

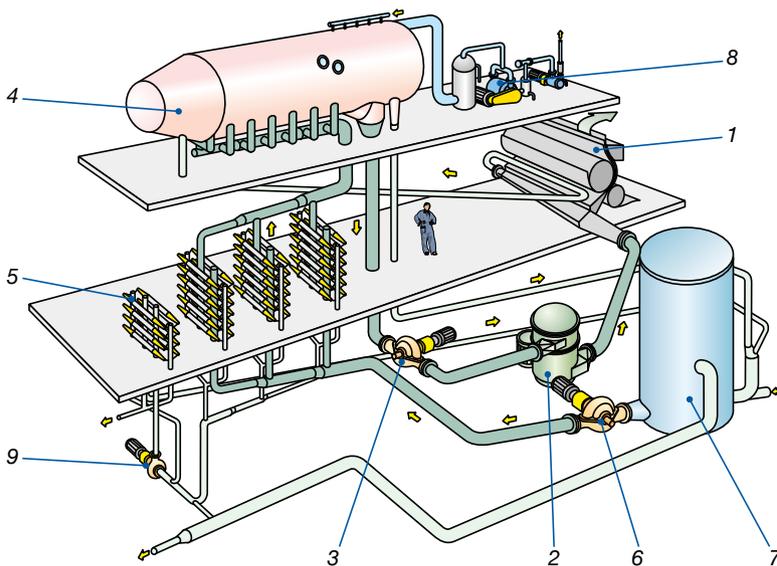
Einführung

Die Papierqualität hängt entscheidend von der Ausführung des Konstanten Teiles und der Qualität seiner Komponenten ab. Die Stoffauflaufpumpe ist eine Komponente des Konstanten Teils, die Auswirkung auf die Papierqualität hat. Bild 1 zeigt einen typischen Konstanten Teil.

Druckpulsationen, die durch die Stoffauflaufpumpe verursacht werden, können inakzeptable Schwankungen des Flächengewichts in Laufrichtung (Bild 2) hervorrufen.

Es gibt keine Zentrifugalpumpe, die ohne Pulsationen arbeitet. Deshalb ist es notwendig, die Pulsationen durch geeignete Konstruktion und hohe Fertigungsqualität auf ein Minimum zu beschränken.

Dieser Artikel beschreibt die Entstehung von Druckpulsationen in Zentrifugalpumpen und Möglichkeiten, diese zu minimieren. Andere mögliche Ursachen der Druckpulsationen werden ebenso erwähnt, wie spezielle Aspekte der Konstruktion und Fertigung der Stoffauflaufpumpe.



- | | |
|-------------------------|---|
| 1 Stoffauflauf | 6 ZPP Pumpe zur 1. Cleanerstufe |
| 2 Papiermaschinensieb | 7 Siebwasserbütte |
| 3 ZPP Stoffauflaufpumpe | 8 Vakuumpumpe |
| 4 Entlüftungsanlage | 9 AHLSTAR-Pumpe für weitere Cleanerstufen |
| 5 Cleaner | |

Bild 1. Konstanter Teil der Papiermaschine

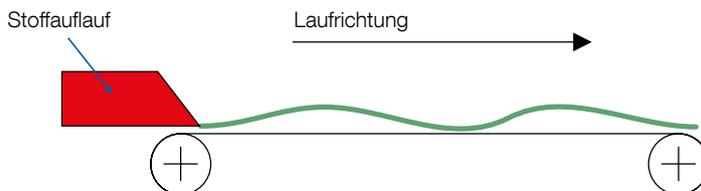


Bild 2. Schwankungen des Flächengewichts



Druckpulsationen im Konstanten Teil der Papiermaschine

Wegen der Komplexität eines Konstanten Teiles der Papiermaschine gibt es vielfältige Ursachen für die Druckpulsationen. Sie können durch die verschiedenen Komponenten (Bild3) im Konstanten Teil hervorgerufen, bzw. verstärkt und gedämpft werden.

Es ist deshalb notwendig, alle Komponenten, wie auch das gesamte System, so zu konstruieren, zu fertigen und zu installieren, dass die Druckpulsationen so klein wie möglich sind, um ein problemloses Anfahren der Papiermaschine zu gewährleisten und eine hohe und konstante Papierqualität zu produzieren.

Ursachen der Druckpulsationen im Konstanten Teil der Papiermaschine

Drucksortierer

- Konstruktion und Qualität der rotierenden Elemente, der Foils und des Siebkorbess sowie Auslauf des Gutstoffes

Rohrleitungen

- Konstruktion und Abstützung

Mechanische Schwingungen

- Rohrleitungen, die nicht gut abgestützt sind
- Pumpen, Vertikalsichter oder andere Komponenten, die nicht ausreichend im Fundament verankert sind
- Gebäude

Pumpenantrieb

- Getriebe
- Kupplung
- Drehzahlregelung

System

- sich überlagernde Betriebsfrequenzen: Pumpen und Drucksortierer
- Resonanzfrequenzen von Pumpe und System (z.B. Rohrleitungen)
- Regelung durch Ventil
- Regelung durch Bypass

Stoffauflaufpumpe

- Qualität der Konstruktion und Fertigung, besonders beim Laufrad
- relative Lage des Betriebspunktes zum Punkt des maximalen Wirkungsgrades
- Ansaugbedingungen (NPSH)

Grundlagen der Druckpulsationen

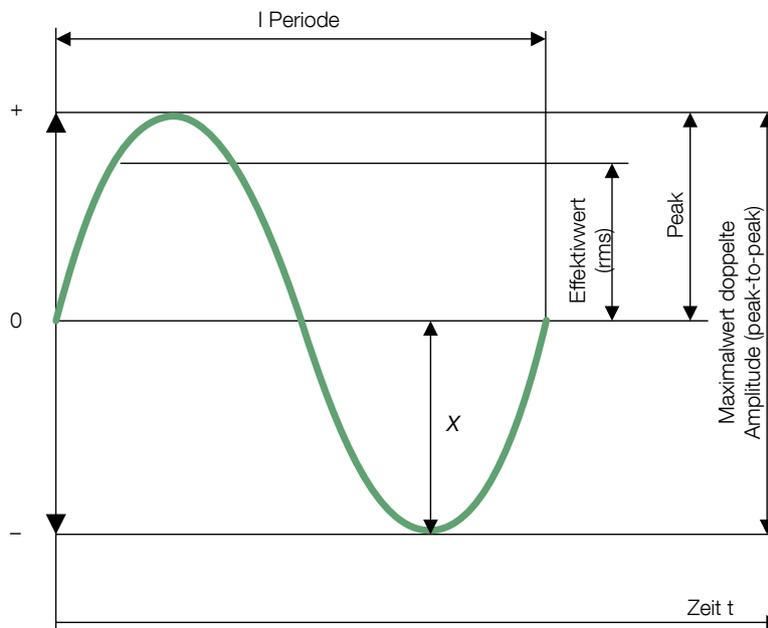
Frequenz

Die Frequenz (Bild 3) ist die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit, z.B. die Anzahl der Perioden pro Sekunde (Pps), wenn die Einheit Hz (Hertz) benutzt wird, oder die Anzahl der Perioden pro Minute (Ppmin).

Amplitude

Die Amplitude (Bild 3) ist, für Druckpulsationen betrachtet, das Ausmaß der Druckpulsation (Schwingung). Das Ausmaß der Schwingung kann in verschiedenen Maßeinheiten angegeben werden. Weitverbreitet sind die Einheiten: Pa (Pascal), mbar (Millibar), psi (pounds per square inch) und mWS (Meter Wassersäule).

Bild 3 zeigt graphisch und mathematisch die Relationen zwischen diesen Termen, Effektivwert (rms = root-mean-square), Maximalwert (peak) und doppelter Maximalwert (peak-to-peak).



$$\text{Frequenz (f) = Hz (Pps)}$$

$$\text{Amplitude X, (p,psi) = Pa, mbar, psi}$$

$$\text{Effektivwert (rms) = X / } \sqrt{2}$$

$$\text{Peak-to-peak} = \text{Effw} \times 2\sqrt{2}$$

$$1000 \text{ Pa} = 10 \text{ mbar} = 0.102 \text{ mWS} = 0.15 \text{ psi}$$

Bild 3. Grundlagen der Druckpulsationen, Frequenz und Amplitude

Resonanz

Jedes schwingungsfähige System, sei es nun Bauteil, Aggregat oder Gebäude, hat mindestens eine Eigenfrequenz. Diese Systeme können mit der Eigenfrequenz zu schwingen beginnen, wenn sie durch eine Kraft angestoßen werden. Auch kleine Kräfte können, wenn sie im Rhythmus der Eigenfrequenz auf das System einwirken, große Amplituden erzeugen. Dieses Phänomen nennt man Resonanz.

Überlagerte Frequenzen

Überlagerte Frequenzen weisen auf eine Situation hin, in der zwei oder mehr Komponenten, wie die Stoffaufpumppe und der Drucksortierer im Konstanten Teil, Druckpulsationen erzeugen, die im gleichen Frequenzbereich oder sehr nahe beieinander liegen. Das Ergebnis bei überlagerten Frequenzen kann eine höhere Druckpulsation sein.

Druckpulsationen, hervorgerufen durch eine Zentrifugalpumpe

Nur periodische Druckpulsationen mit Frequenzen, die in Einklang zur Drehzahl (n) der Pumpe stehen, sind von der Pumpe verursacht.

Druckpulsationen bei

a) Laufradschaufel-Frequenzen

Druckpulsationen bei Laufradschaufel-Frequenzen (fz) werden von jeder Laufradschaufel erzeugt, wenn diese die Gehäusezunge am Druckstutzen der Pumpe passiert (Bild 4).

Der Effekt kann in etwa mit dem schnellen Schließen eines Ventils verglichen werden, wodurch ein Druckstoß verursacht wird.

Beispiel:

$$z = 7 \text{ Schaufeln}$$

$$n = 600 \text{ 1/min}$$

$$f_z = z \times n / 60 = \text{Hz}$$

$$f_z = 7 \times 600 / 60 = 70 \text{ Hz}$$

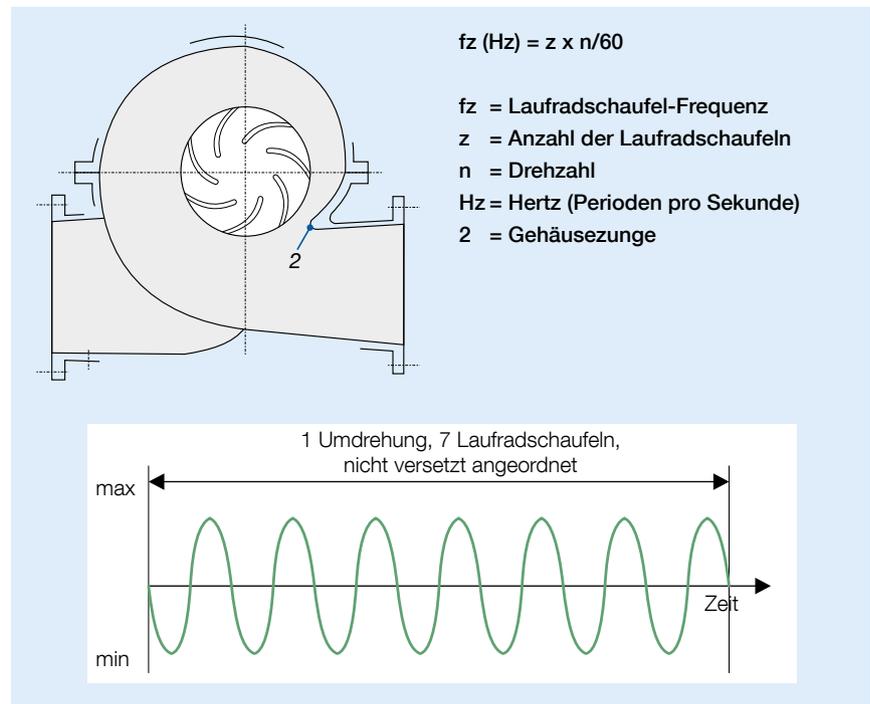
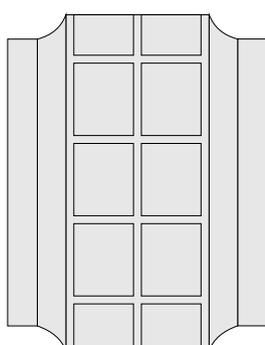
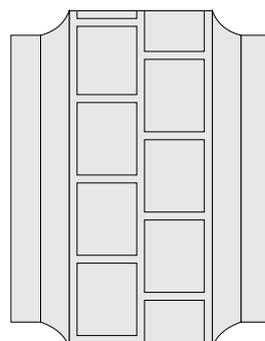


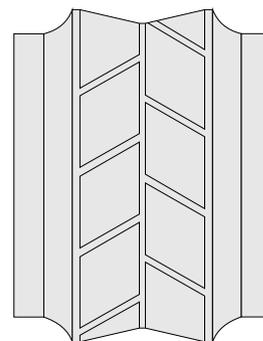
Bild 4. Druckpulsationen bei Laufradschaufel-Frequenzen



a) geteilte, gerade Schaufeln, nicht empfehlenswert



b) geteilte und versetzt angeordnete gerade Schaufeln



c) Geteilte und versetzt angeordnete schräge Schaufeln, beste Ausführung

Bild 5. Schaufelkonstruktionen eines Laufrads

Die Amplitude der Druckpulsation wird von der Breite des Spaltes zwischen dem Laufrad und der Gehäusezunge beeinflusst. Um die Druckpulsationen gering zu halten, ist ein bestimmter Abstand zwischen dem Laufrad und der Gehäusezunge erforderlich. Die Spaltbreite ist von der hydraulischen Charakteristik der Pumpe abhängig.

b) Konstruktion der Laufradschaufeln
 Bild 5 zeigt Laufräder mit verschiedenen Schaufelkonstruktionen. Im Fall Bild 5a, bei dem die Enden der geraden, nicht versetzten Schaufeln die Gehäusezunge mit der gesamten Breite auf einmal passieren, ist die Amplitude der Druckpulsation erheblich größer, als im anderen Fall, bei dem die Schaufeln schräg und versetzt angeordnet sind, Bild 5c. In diesem Fall ist die Breite der Schaufelenden, die die Gehäusezunge passieren, wesentlich kleiner, wodurch sich die Höhe der Druckpulsation verringert. Bild 6 zeigt das Ergebnis eines Testlaufes zum Vergleich zwischen einem Laufrad mit geteilten, nicht versetzt angeordneten, geraden Schaufeln und einem Laufrad mit geteilten, aber versetzt angeordneten, geraden Schaufeln. Der Vergleich soll tendenziell den Unterschied zwischen diesen beiden unterschiedlichen Konstruktionen aufzeigen.

Druckpulsationen bei Drehzahlfrequenzen

Druckpulsationen bei Drehzahlfrequenzen werden hervorgerufen durch:

- eine exzentrische Kontur, das bedeutet Exzentrizität des Außendurchmessers und / oder der Laufradnabe und der Schaufeleintrittskanten
- eine ungenaue Oberflächensymmetrie, das bedeutet eine Taumelbewegung der Laufradwände und/ oder einzelne Unebenheiten auf der Laufradoberfläche, Bild 7
- eine unkorrekt ausgewuchtete Läuferinheit

Beispiel:

$$n = 1000 \text{ 1/min}$$

$$f_n = n/60 = \text{Hz}$$

$$f_n = 1000/60 = 16.6 \text{ Hz}$$

Die Auswirkung von unakzeptablen Druckpulsationen bei Drehzahlfrequenzen auf das Flächengewicht in Laufrichtung zeigt Bild 8.

Zeigt die Tendenz

— rote Linie geteilte, gerade, nicht versetzt angeordnete Schaufeln

— grüne Linie geteilte, gerade, versetzt angeordnete Schaufeln

Δp = Höhe der Druckpulsation

Q = Förderstrom

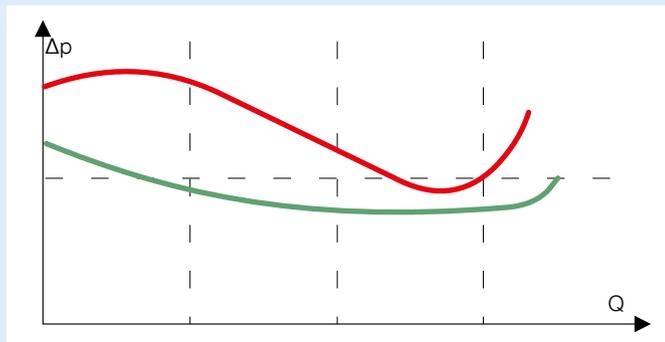
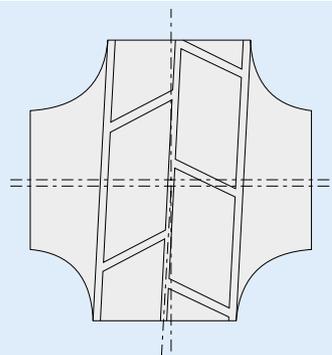


Bild 6. Einfluß der Laufradschaufel-Konstruktion auf die Druckpulsation in Abhängigkeit vom Förderstrom



$$f_n \text{ (Hz)} = n/60$$

f_n = Drehzahlfrequenz

n = Drehzahl (Umdrehungen pro Minute)

Hz = Hertz (Perioden pro Sekunde)

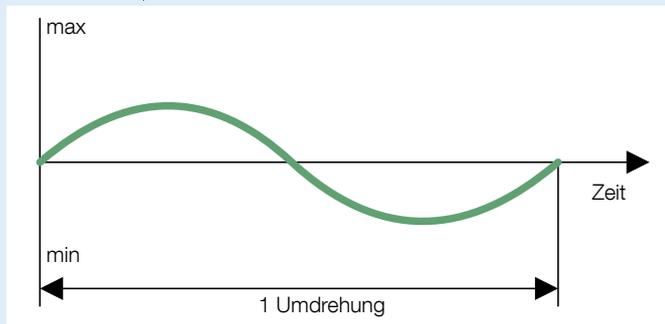
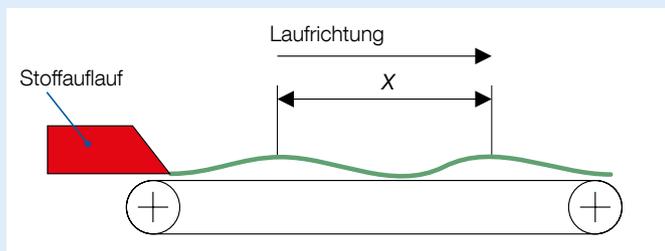


Bild 7. Druckpulsationen bei Drehzahlfrequenzen



Papiermaschinen-Geschwindigkeit

(v) = 750 m/min

Pumpendrehzahl = 1000 1/min

$$X = \frac{v}{n} = \frac{750 \text{ m} \times \text{min}}{1000 \text{ min} \times 1} = 0.75 \text{ m}$$

Bild 8. Schwankungen des Flächengewichts in Laufrichtung bei Drehzahlfrequenzen

Einfluß der Saugbedingungen

Wenn die Differenz zwischen NPSHa, (vom System bedingt), und NPSHr, (von der Pumpe gefordert) zu klein ist, kann das die Höhe der Pulsationen beeinflussen. NPSHa muss höher sein als NPSHr.

Andere Aspekte der Druckpulsationen, die durch eine Zentrifugalpumpe hervorgerufen werden

a) Druckpulsationen, hervorgerufen durch eine Zentrifugalpumpe, können bei verschiedenen Vielfachen (1... x mal) der Drehzahl beobachtet werden. Die höchsten Druckpulsationen entstehen bei ein oder zwei mal Drehzahlfrequenz (fn) und ein oder zwei mal Schaufelfrequenz (fz). Druckpulsationen bei zwei mal Drehzahlfrequenz (fn) können ihre

Ursache in Fluchtungsfehlern zwischen Pumpe und Antrieb haben. Sie können auch dann auftreten, wenn die Kuppelung Spiel hat oder wenn eine flexible Kupplung oder eine nicht korrekt montierte Kardanwelle benutzt wird.

b) Die Höhe der Druckpulsation wird auch durch die Lage des Betriebspunktes zum Punkt des besten Wirkungsgrades beeinflusst. Bild 9 zeigt, dass die niedrigste Pulsation erreicht wird, wenn der Arbeitspunkt nahe am und links vom Bestwert liegt.

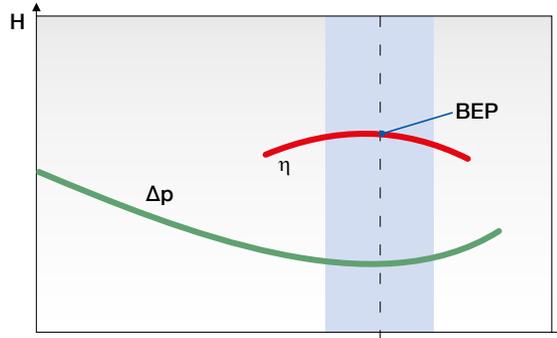


Bild 9. Einfluß der Lage des Betriebspunktes auf die Druckpulsation

Konstruktion und Qualität des Laufrades

Weil die Konstruktion des Laufrades und die Fertigungsqualität bei weitem die wichtigsten Einflußfaktoren für die Druckpulsationen sind, sollte ihnen besondere Aufmerksamkeit gelten.

Bild 10 zeigt die bedeutendsten Konstruktionsdetails und Fertigungsstufen, die nötig sind, um ein hochpräzises, nur niedrige Druckpulsationen erzeugendes Laufrad zu erhalten.

- 1 Hochpräziser Guß
- 2 Versetzt angeordnete schräge Schaufeln
- 3 Gleiches Schaufelvolumen
- 4 Hoher Grad der Konzentrizität der Innen- und Außenkanten der Schaufeln, gleiche Schaufelwinkel
- 5 Hoher Grad der Oberflächensymmetrie und der Konzentrizität der Schaufelkontur
- 6 Dynamisch ausgewuchtete Läuferinheit
- 7 Strenge Kontrolle der Fertigungsqualität

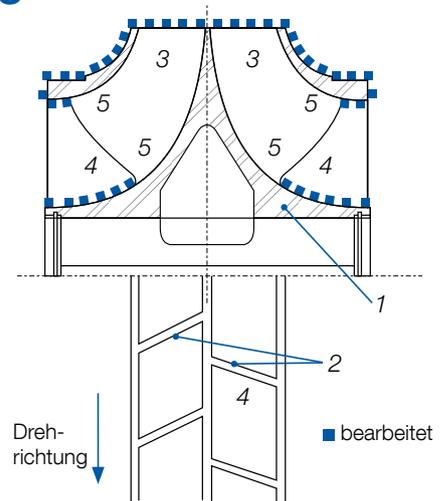
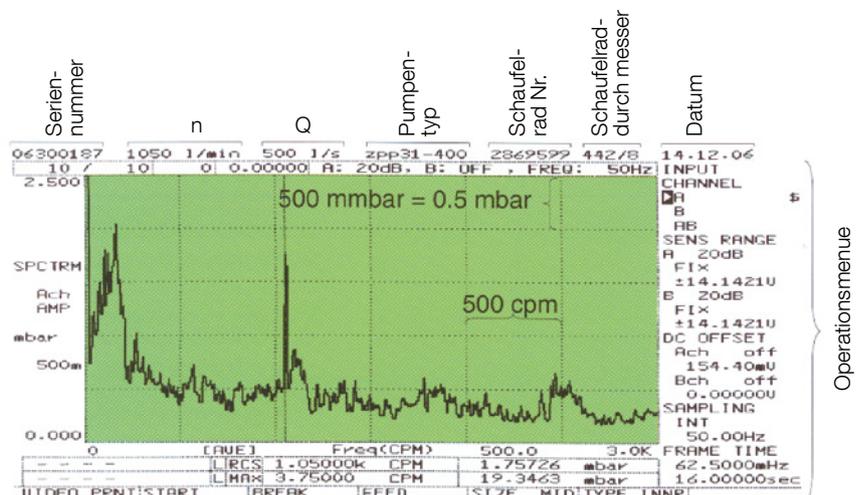


Bild 10. Konstruktion und Fertigungsqualität des Schaufelrades

Pumpentyp	ZPP31-400
Auftrags-Nr.	300187
Seriennummer	06300187
Testdatum	14. Dezember 2006
Testdrehzahl	1050 1/min
Pulsation mit Drehzahlfrequenz	
mbar	± 1.75
mm Wassersäule	± 17.8

Bild 11. Pulsationstestbericht



Minimierung der Druckpulsationen

Dieses Kapitel behandelt zusammenfassend die Bedingungen unter denen es möglich ist, die geringsten Druckpulsationen bei einer Stoffauflaufpumpe zu erreichen. Es beschreibt auch andere Aspekte, die bei der Planung des Konstanten Teiles in Erwägung gezogen werden sollten.

Druckpulsationen bei Laufradschaufel-Frequenzen

Druckpulsationen bei Laufradschaufelfrequenzen (f_z) werden:

- reduziert durch die Konstruktion und die Fertigungsqualität des Laufrades
- reduziert durch die Benutzung von geteilten und versetzt angeordneten schrägen Schaufeln
- reduziert beim Einhalten eines bestimmten Abstands zwischen dem Laufrad und der Gehäusezunge
- gedämpft durch den Reibungswiderstand der Rohrleitungen und der anderen Komponenten des Konstanten Teils

Feldversuche haben ergeben, dass die Frequenzen der Druckpulsationen bei Schaufelfrequenzen in den meisten Fällen oberhalb von 60 Hz liegen und ihr Einfluß auf die Papierqualität im allgemeinen nicht schädlich ist, da sie vom System gedämpft werden. Es ist deshalb von Vorteil, eine Pumpe mit höherer Drehzahl zu benutzen. Denn je höher die Frequenzen der Druckpulsationen sind, um so effektiver werden sie gedämpft.

Druckpulsationen bei Drehzahlfrequenzen

Druckpulsationen bei Drehzahlfrequenzen (f_n) werden:

- reduziert durch die Konstruktion und die Fertigungsqualität des Laufrades
- reduziert durch dynamisches Auswuchten der Läuferinheit
- am geringsten, wenn der Betriebspunkt nahe am Punkt des maximalen Wirkungsgrades liegt
- am geringsten bei zwei mal Drehzahlfrequenz (f_n), doppelflutiges Laufrad mit schrägen Schaufeln
- am geringsten bei Verwendung einer drehstarrten Kupplung

Andere Aspekte

a) Überlagerte Frequenzen: Pumpe und Drucksortierer. Weil der Drucksortierer, der zwischen der Stoffauflaufpumpe und dem Stoffauflauf angeordnet ist, auch Druckpulsationen hervorruft, sollten seine Frequenzen nicht bei oder nahe bei der Pumpenfrequenz liegen. Andernfalls könnten die Druckpulsationen der Stoffauflaufpumpe durch die Druckpulsationen des Drucksortierers verstärkt werden.

b) Bei den heute bei Stoffauflaufpumpen üblichen Antrieben mit variabler Drehzahl sollte auf Drehzahlkonstanz des Motors besonders geachtet werden.

c) Pulsationsdämpfer

Auf dem Markt sind Pulsationsdämpfer erhältlich. Doch wenn man den Konstanten Teil einer Papiermaschine plant, sollte man zuerst darauf achten, dass nur Komponenten gebaut und installiert werden, die niedrige Druckpulsationen ohne negative Einflüsse auf die Papierqualität gewährleisten.

Testen der Druckpulsationen

Druckpulsationstests können in der Teststation der Pumpenfabrik durchgeführt werden. Ein Beispiel für einen Pulsationstestbericht ist in Bild 11 abgebildet. In der Grafik ist die Höhe der Druckpulsation über der Frequenz aufgetragen. Der vertikale Maßstab für die Pulsationshöhe ist zwischen den gestri-

chelten Linien in 500 mbar (0.5 mbar) eingeteilt. Der gesamte Meßbereich ist 2.500 mbar. Die Werte sind als Effektivwerte (rms) dargestellt. Der horizontale Maßstab für die Frequenz ist zwischen den gestrichelten Linien in 500 Ppmin (Perioden pro Minute) eingeteilt. Der gesamte Meßbereich ist 3000 Ppmin (50

Hz). Die Druckpulsation bei Drehzahlfrequenz ist in diesem Beispiel 1.75 mbar. Die Meßbereiche können verändert werden, das Frequenzband ist z.B. bis 200 Hz oder höher erweiterbar. Weitere Erklärungen zur Grafik siehe Bild 11.

Zusammenfassung

Mit weltweit annähernd 5000 installierten Stoffauflaufpumpen und Pumpen zur 1. Cleanerstufe hat Sulzer eine herausragend hohe Zahl von Referenzen für verschiedene Applikationen im Hinblick auf Papiersorte oder Papiermaschinenhersteller. Das ermöglicht uns, zusam-

men mit unserer Grundlagenforschung, modernen Konstruktionsmethoden und Fertigungseinrichtungen, diese Pumpen gemäß den hohen Anforderungen der heutigen schnellen und modernen Papiermaschinen zu liefern, um Papier in höchster Qualität zu produzieren.

www.sulzer.com



E00531 de 11.2016, Copyright © Sulzer Ltd 2016

Diese Broschüre ist eine allgemeine Präsentation unserer Produkte und enthält keinerlei Gewährleistungen. Wegen der mit unseren Produkten angebotenen Garantien oder Gewährleistungen, nehmen Sie bitte Kontakt mit uns auf. Bedienungsanleitungen und Sicherheitsbeschreibungen werden separat geliefert. Änderungen vorbehalten.